

GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR

ESTUDO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L.
PROVENIENTE DE ÁRVORES ADULTAS ATINGIDAS
POR INCÊNDIO FLORESTAL

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal do Setor de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Paraná,
como requisito parcial para a obtenção do
Título de “Doutor em Ciências Florestais”.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Moreschi

CURITIBA

1999



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de **DOUTORADO**, apresentada pelo candidato **GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR**, sob o título **"ESTUDO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L. PROVENIENTE DE ÁRVORES ADULTAS ATINGIDAS POR INCÊNDIO FLORESTAL"**. para obtenção do grau de **Doutor em Ciências Florestais**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Tese, com média final: (9,3), correspondente ao conceito (A).

Curitiba, 30 de julho de 1999.

Prof. Dr. José Otávio Brito
Primeiro Examinador
ESALQ

Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr
Segundo Examinador
EESC/USP

Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares
Terceiro Examinador
UFPR

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Quarto Examinador
UFPR

Prof. Dr. João Carlos Moreschi
Orientador e Presidente da Banca
UFPR



Em homenagem

à memória do meu irmão

Renê Alberto Bortoletto,

OFFERÇO.

Aos meus pais, irmão,

tios, esposa e filhas,

DEBIOO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. João Carlos Moreschi, pela acolhida ao curso, orientação e apoio demonstrado durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro, sem o qual, o desenvolvimento deste trabalho não seria possível.

À Prof.^a Dra. Graciela Inez Bolzon de Muñoz, pela colaboração no comitê de orientação e por suas sugestões e incentivo.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares, pela colaboração no comitê de orientação, pelo incentivo dado para que este trabalho tivesse continuidade quando ainda era mero projeto, pela intermediação dos contatos junto à empresa que disponibilizou a matéria-prima utilizada, bem como pelo apoio e acompanhamento até a finalização deste trabalho.

À empresa MANASA S/A, pela disponibilização da matéria-prima, da infra-estrutura, e dos funcionários, que colaboraram durante toda a fase de coleta do material utilizado neste trabalho.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná, na pessoa do Prof. Dr. João Carlos Moreschi, pela concessão dos recursos utilizados nos deslocamentos feitos na fase de coleta de material, e no custeio do frete para o transporte da madeira utilizada neste trabalho.

À FUPEF, na pessoa do seu Diretor Científico, Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares, pela concessão do meio de transporte utilizado nos deslocamentos feitos durante a coleta do material utilizado neste trabalho.

Ao Prof. MSc. Humberto Klock, pela colaboração e sugestões referentes às análises químicas da madeira.

Ao Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pelo auxílio na realização dos ensaios mecânicos da madeira e pelas sugestões.

À Ricardo Klitzke, pelo auxílio nos trabalhos gerais de laboratório e ao Sr. Vitor Daniel Herrera, pela confecção dos corpos-de-prova, bem como pela amizade demonstrada por ambos.

Ao Prof. Dr. José Otávio Brito, Chefe do Dept.^o de Ciências Florestais (LCF) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP), pela disponibilização do Laboratório do Setor de Química, Celulose e Energia (SQCE), onde foi realizada parte das análises de composição química da madeira, e a Maria Regina Buch, pelo auxílio nas referidas análises.

Ao Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto do LCF/ESALQ/USP, pelo auxílio, sugestões e apoio, na análise estatística dos dados.

À Chefia do LCF/ESALQ/USP, pelo incentivo e apoio dado, concedendo o meu afastamento, na fase de finalização deste trabalho.

Aos amigos Prof. Nabor da Silveira Pio e Eng.^o Florestal Antônio Carlos Paixão, pelo apoio em termos de infra-estrutura domiciliar, dado na fase de finalização deste trabalho.

Aos demais professores, funcionários e amigos contemporâneos do Curso de Pós-Graduação, que incentivaram e colaboraram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho.

À minha família, pelo incentivo e apoio dado nos momentos críticos.

B I O G R A F I A

GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR, filho de Geraldo Bortoletto e Sônia de Vasconcellos Bortoletto, nasceu em Araraquara, Estado de São Paulo, em 05 de dezembro de 1963.

Concluiu o curso primário na Escola Estadual de Primeiro Grau "Pedro José Neto"; o curso ginásial na Escola Estadual de Primeiro Grau "Antonio J. de Carvalho", e o curso de segundo grau, no Colégio Objetivo, todos estabelecidos em Araraquara.

Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade de Brasília, em Brasília, Distrito Federal, em 1989.

Iniciou em 1990, o Programa de Mestrado em Arquitetura na Área de Tecnologia do Ambiente Construído em Madeira, pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), na cidade de São Carlos, concluindo-o em 1993.

Em 1994, iniciou o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, nível Doutorado, na Área de Concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, pela Universidade Federal do Paraná, em Curitiba.

Ao final de 1997, foi aprovado em concurso público, e iniciou suas atividades de ensino, pesquisa e extensão, no início de 1998, exercendo o cargo de Professor Assistente na Universidade de São Paulo (USP) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), junto ao Departamento de Ciências Florestais (LCF), na Área de Tecnologia da Madeira, na cidade de Piracicaba - SP, onde permanece até o presente momento.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 DADOS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS OCORRIDOS NO BRASIL.....	5
2.2 EFEITOS DO FOGO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	7
2.2.1 Danos Causados às Árvores Vivas.....	9
2.2.1.1 Efeito da Temperatura nos Tecidos Vivos das Árvores.....	11
2.2.1.2 Efeito da Temperatura Sobre o Câmbio das Árvores.....	13
2.2.1.3 Efeito da Temperatura Sobre as Copas das Árvores.....	14
2.3 EFEITOS DO FOGO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS SOBRE AS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	17
2.4 EFEITOS DA AÇÃO DO CALOR E DA TEMPERATURA SOBRE AS PROPRIEDADES DA MADEIRA EM SITUAÇÕES QUE NÃO SE REPORTAM ÀQUELAS OCORRIDAS EM INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	20
2.4.1 Fases da Ação do Calor na Madeira.....	21
2.4.2 A Ação do Calor e os Fatores de Influência.....	27
2.4.3 Efeito da Temperatura em Estudos de Retificação Térmica da Madeira.....	30

2.4.4 Efeitos das Altas Temperaturas de Secagem Sobre as Propriedades da Madeira.....	33
2.4.5 Efeito da Temperatura no Cozimento de Toras para Laminação.....	35
2.4.6 Efeito da Temperatura Sobre as Propriedades de Resistência e Elasticidade da Madeira em Geral.....	38
2.5 OUTROS FATORES QUE INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA.....	42
2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DA LITERATURA.....	55
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	56
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DO MATERIAL.....	56
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO INCÊNDIO.....	57
3.2.1 Variáveis Climáticas no Momento do Incêndio.....	58
3.3 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO FOGO.....	59
3.3.1 Altura das Chamas ou de Queima e Altura das Árvores.....	60
3.3.2 Intensidade de Fogo.....	60
3.3.3 Altura de Crestamento Letal.....	61
3.4 AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES NOS TALHÕES E IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE QUEIMA.....	62
3.4.1 Seleção, Marcação e Codificação das Árvores para o Posterior Abate.....	62
3.4.2 Corte das Árvores.....	65
3.4.3 Desgalhamento, Medições, Codificação e Traçamento Inicial da Árvore.....	66

3.4.4 Amostragem Inicial das Toras e Codificação das Amostras.....	67
3.5 DESDOBRIO EM SERRARIA PARA OBTENÇÃO DE PRANCHÕES..	73
3.6 PROCESSAMENTO DOS PRANCHÕES.....	75
3.7 PROCESSAMENTO DAS VIGAS E RETIRADA DE CORPOS-DE- PROVA PARA OS ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS.....	77
3.7.1 Ensaio Físicos.....	78
3.7.2 Ensaio Mecânicos.....	79
3.7.3 Teor de Umidade da Madeira dos Corpos-de-Prova Ensaiaados.....	84
3.8 PROCESSAMENTO DOS DISCOS E PREPARO DO MATERIAL PARA A ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA.....	84
3.8.1 Análises Químicas.....	88
3.9 FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	89
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
4.1 PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO FOGO.....	92
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS.....	95
4.2.1 Análise da Variância.....	95
4.2.2 Valores Médios das Propriedades Físicas.....	98
4.2.2.1 Massa Específica Básica.....	98
4.2.2.2 Massa Específica Seca.....	102
4.2.2.3 Massa Específica Anidra.....	104
4.2.2.4 Contração Tangencial Máxima.....	106
4.2.2.5 Contração Radial Máxima.....	108
4.2.2.6 Contração Volumétrica Máxima.....	110
4.2.2.7 Anisotropia de Contração Máxima.....	112

4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	115
4.3.1 Análise da Variância.....	115
4.3.2 Valores Médios das Propriedades Mecânicas.....	117
4.3.2.1 Flexão Estática.....	117
4.3.2.2 Compressão Paralela às Fibras.....	122
4.3.2.3 Compressão Perpendicular às Fibras.....	128
4.3.2.4 Cisalhamento Paralelo às Fibras.....	132
4.3.2.5 Fendilhamento.....	134
4.3.2.6 Flexão Dinâmica.....	135
4.4 ANÁLISE QUÍMICA.....	137
4.4.1 Análise da Variância.....	137
4.4.2 Valores Médios dos Componentes Químicos.....	139
4.4.2.1 Teor de Extrativos Solúveis em Água Fria.....	139
4.4.2.2 Teor de Materiais Solúveis em NaOH a 1%.....	141
4.4.2.3 Teor de Extrativos Totais.....	142
4.4.2.4 Teor de Lignina.....	144
4.4.2.5 Teor de Holocelulose.....	145
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	147
6 CONCLUSÕES.....	155
RECOMENDAÇÕES.....	157
ANEXOS.....	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169

LISTA DE TABELAS

1	PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO FOGO PARA AS ÁRVORES DOS NÍVEIS DE QUEIMA I, II, III e IV.....	93
2	VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.....	99
3	VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA SECA.....	102
4	VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA ANIDRA.....	104
5	VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA.....	106
6	VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA.....	109
7	VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA.....	111
8	VALORES MÉDIOS DA ANISOTROPÍA DE CONTRAÇÃO MÁXIMA..	113
9	VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA (MOR) NA FLEXÃO ESTÁTICA.....	118
10	VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) NA FLEXÃO ESTÁTICA.....	120
11	VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PARALELA.....	122
12	VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PARALELA.....	125
13	VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) NA COMPRESSÃO PARALELA.....	127
14	VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR.....	129
15	VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR.....	130
16	VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA AO CISALHAMENTO.....	132

17 VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA AO FENDILHAMENTO...	134
18 VALORES MÉDIOS DO COEFICIENTE DE RESILIÊNCIA NA FLEXÃO DINÂMICA.....	136
19 VALORES MÉDIOS DO TEOR DE EXTRATIVOS EM ÁGUA FRIA PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV.....	139
20 VALORES MÉDIOS DO TEOR DE MATERIAIS SOLÚVEIS EM NaOH A 1% PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV.....	141
21 VALORES MÉDIOS DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV.....	143
22 VALORES MÉDIOS DO TEOR DE LIGNINA PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV.....	144
23 VALORES MÉDIOS DO TEOR DE HOLOCELULOSE PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV.....	146

LISTA DE FIGURAS

1	COLETA DE AMOSTRAS BOTÂNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE.....	64
2	COLETA DE AMOSTRAS BOTÂNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE.....	64
3	TRANSPORTE DAS TORAS DE 4,00 m AMOSTRADAS DAS ÁRVORES, PARA A BEIRA DA ESTRADA QUE MARGEAVA OS TALHÕES.....	68
4	SEQÜÊNCIA DO TRANSPORTE DAS TORAS.....	69
5	SEQÜÊNCIA DO TRANSPORTE DAS TORAS E DEPÓSITO NA BEIRA DA ESTRADA QUE MARGEAVA OS TALHÕES.....	70
6	ESQUEMATIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM INICIAL DA TORA EM DISCOS E SEÇÕES.....	71
7	AMOSTRAGEM DA TORA.....	72
8	AMOSTRAGEM DA TORA.....	72
9	ESQUEMATIZAÇÃO DA SEQÜÊNCIA DE DESDOBRO DA TORA PARA OBTENÇÃO DO PRANCHÃO CENTRAL E RETIRADA DE VIGAS.....	74
10	FACE DE APLICAÇÃO DA CARGA NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	80
11	ESQUEMATIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM DO DISCO EM CUNHAS E IDENTIFICAÇÃO DOS DOIS TIPOS DE LENHO.....	86
12	GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.....	101

13 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA SECA.....	103
14 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA ANIDRA.....	105
15 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA.....	107
16 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA.....	109
17 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA.....	111
18 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO MÁXIMA.....	114
19 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MOR NA FLEXÃO ESTÁTICA.....	119
20 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MOE NA FLEXÃO ESTÁTICA.....	121
21 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PARALELA.....	124
22 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PARALELA.....	126
23 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MOE NA COMPRESSÃO PARALELA.....	128
24 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR.....	129
25 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR.....	131

26 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA AO CISALHAMENTO.....	133
27 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA AO FENDILHAMENTO.....	135
28 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO COEFICIENTE DE RESILIÊNCIA NA FEXÃO DINÂMICA.....	137

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo principal avaliar o efeito do fogo sobre a qualidade da madeira adulta de *Pinus taeda* L., de árvores atingidas por incêndio florestal, em diferentes níveis de queima, utilizando-se como referência madeira de árvores da mesma espécie, não atingidas pelo incêndio. Para a consecução deste objetivo foram definidos visualmente no campo quatro níveis de queima (I - queima superficial sem crestamento letal das copas, II - queima superficial com crestamento letal parcial das copas, III - consumo parcial das copas pelas chamas e IV - consumo total das copas pelas chamas), coletadas amostras de madeiras das árvores correspondentes a cada nível e também das árvores não atingidas pelo incêndio (testemunhas). A partir das amostras coletadas foram confeccionados corpos-de-prova de madeira e determinadas as suas propriedades físicas (massas específicas básica, seca e anidra; contrações tangencial, radial e volumétrica máximas, e anisotropia de contração máxima) e suas propriedades mecânicas (flexão estática; compressão paralela às fibras; compressão perpendicular às fibras, cisalhamento paralelo às fibras, fendilhamento e flexão dinâmica). A composição química da madeira (teor de extrativos solúveis em água fria, teor de materiais solúveis em NaOH a 1%, teor de extrativos totais, teores de lignina e holocelulose) foi também determinada, mas somente para as amostras do nível de queima IV e testemunha. Através da análise dos resultados obtidos, não foram detectadas diferenças significativas para as propriedades físicas entre a madeira dos níveis de queima considerados e testemunha. Foram detectadas diferenças significativas entre a madeira do nível de queima IV e testemunha, para a compressão paralela (tensão máxima e tensão no limite proporcional), flexão estática (MOR e MOE) e flexão dinâmica. Entre a madeira do nível de queima III e a testemunha foram detectadas diferenças significativas para a compressão paralela (tensão máxima e tensão no limite proporcional) e para a propriedade de fendilhamento. Entre as madeiras dos níveis de queima II e I, e a testemunha, não foram detectadas diferenças significativas entre suas propriedades mecânicas, com exceção da propriedade de fendilhamento entre o nível de queima II e a testemunha. Foi detectada diferença significativa na composição química das madeiras, entre o nível de queima IV e testemunha, somente para o teor de extrativos solúveis em água fria. O efeito do fogo não ocasionou suficiente degradação química ou redução da resistência das madeiras deste estudo, que pudessem torná-las inaptas para os usos normais, exceto para fins de produção de polpa e papel, particularmente a partir das porções da árvore que tiveram carbonização na casca.

ABSTRACT

The main objective of this work was to evaluate the forest fire effect over the wood quality of adult *Pinus taeda* L. trees. Four different visual burning levels were established (I - superficial burning without lethal crown scorch, II - superficial burning with partial lethal crown scorch, III - partial consumption of crown by flames, and IV - total consumption of crown by flames) and compared to a control with no burned trees. Wood samples were collected from trees of each level and the control, and prepared to determine their physical properties (specific mass, maximum tangential, radial and volumetric-shrinkage, and relationship between maximum tangential and radial-shrinkage), and their mechanical properties (static bending, compression-parallel-to-grain, compression-perpendicular-to-grain, shear-parallel-to-grain, cleavage and impact bending). The wood chemical composition (soluble extractives content in cold water, soluble materials content in 1% sodium hydroxide, total extractives content, lignin and holocellulose contents) was also determined, however only for the burning level IV and for the control. The results showed no significant differences in the wood physical properties, between the burning levels and the control. Significant differences were detected between wood from the burning level IV and the control for compression-parallel-to-grain (tension maximum and tension at a proportional limit), static bending (MOR and MOE), and impact bending. Significant differences were detected for compression-parallel-to-grain (tension maximum and tension at a proportional limit) and cleavage between wood from the burning level III and the control. No differences were detected in the mechanical properties between the wood of burning levels II and I, and the control, except for cleavage between burning level II and the control. Significant differences were detected for chemical components only for soluble extractives content in cold water between the control and burning level IV. The fire effects over the physical-mechanical properties and chemical composition in all burning levels did not cause enough chemical degradation or strength reduction, which could reject those wood for normal use, except for pulp and paper production, particularly from tree portions with charred bark.

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais remotos o fogo está presente como um elemento natural de alguns ecossistemas. Sobre estes, o fogo sempre desempenhou um papel importante na dinâmica da sucessão de plantas, favorecendo algumas e suprimindo outras, modificando também, semelhantemente, a composição da fauna. O fogo é um agente transformador que age sobre vários aspectos dos ecossistemas, ocasionando-lhes amplas mudanças através dos tempos.

Em tempos mais recentes o fogo vem sendo largamente utilizado pelo homem como uma forma barata de manejo, objetivando a redução de material combustível, preparo do terreno para o plantio, controle de espécies e melhoria do habitat para fauna silvestre, entre outros. Segundo estes objetivos, quando o fogo é utilizado sob a forma de queima controlada, sob critérios bem definidos, os efeitos e os benefícios que podem ser obtidos são claros.

Por outro lado, existem registros de grandes incêndios florestais, que ocorrem quase que ciclicamente nos períodos de estiagem, devidos principalmente aos baixos índices pluviométricos que, entre outros fatores, levam a uma redução significativa da umidade relativa do ar e provocam a secagem de material combustível. Tal situação favorece o desenvolvimento dos incêndios florestais devidos ao acúmulo de material combustível seco disponível, o qual se torna altamente propenso à combustão.

Os incêndios podem apresentar efeitos negativos que geram perdas em grau e volume variáveis, sobre diversos aspectos da floresta.

Entre estes aspectos destaca-se o efeito do fogo sobre a sobrevivência das árvores, bem como sobre o potencial tecnológico da madeira proveniente das mesmas. Sobre o potencial tecnológico da madeira pode-se dizer que o conhecimento comprovado que se tem é escasso e, juntamente com outros fatores, tende a gerar polêmica.

O primeiro fator a ser considerado e que poderia estar contribuindo para a polêmica sobre a qualidade da madeira proveniente de árvores queimadas, seria o aspecto da floresta após a ocorrência de um incêndio.

Nestas circunstâncias a floresta apresenta-se sob um tal aspecto, no qual é patente a "falta do verde" e de vida, cujo grau varia de um caso para outro, segundo a intensidade do incêndio.

Tal aspecto, uma vez visualizado, pode trazer consigo a idéia de perda total, inclusive da própria madeira, o que somente ocorreria de fato, em situações extraordinárias nas quais a perda da madeira seria óbvia, devida ao seu próprio consumo pelo fogo.

Aquela idéia poderia, inclusive, ser utilizada como argumento para redução do preço da madeira que se encontra nas florestas sob tais condições, o qual não é apropriado, uma vez que a mesma idéia não estaria baseada em fatos concretos.

Outro fator, também importante a ser considerado, diz respeito à redução da resistência das árvores das florestas atingidas por incêndios florestais frente à degradação biológica, que é dada subsequente à passagem do fogo.

O lapso decorrido entre o incêndio e a verificação do início de ataques de fungos e insetos xilófagos pode ser variável devido a uma série de fatores, porém

é certo, e inicia-se pelas árvores que tiveram sua resistência mais comprometida ou até mesmo praticamente anulada, como é o caso das árvores submetidas a certos níveis de queima, que geralmente são mortas pelo fogo.

De certo modo, a indecisão sobre o destino das árvores das florestas sinistradas pode adiar sobremaneira o abate das mesmas, dando margem para uma eventual infestação de agentes biológicos deterioradores da madeira. Quando esta situação se torna efetiva e é percebida pelo proprietário da floresta, o corte das árvores acaba por ser efetuado tardiamente, o que, a rigor, deveria ser feito o quanto antes possível.

Nas condições acima é muito provável que a madeira destas árvores tenha seu potencial tecnológico reduzido em grau variável, de acordo com cada situação específica. Uma vez em que estes fatos são constatados, fica difícil discernir os efeitos do fogo e os efeitos da degradação biológica sobre a qualidade da madeira, o que certamente leva a controvérsias.

Finalmente, a escassez de literatura disponível que aborde o tema em questão, que é o da qualidade da madeira advinda de florestas atingidas por incêndios florestais, completaria o quadro que acaba por justificar a polêmica existente, ou por gerar especulações não fundamentadas apropriadamente.

Assim, o presente trabalho buscou dar a sua contribuição para um melhor conhecimento da qualidade da madeira gerada a partir de árvores atingidas por incêndios florestais, em diferentes intensidades de fogo, sem que tivessem sido atacadas por fungos e insetos.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo foi avaliar o efeito do fogo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*, de árvores atingidas por um incêndio florestal em diferentes níveis de queima, utilizando-se como referência madeira de árvores da mesma espécie, não atingidas pelo incêndio.

Para alcançar o objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram desenvolvidos:

- a) Avaliação dos parâmetros do comportamento do fogo;
- b) Avaliação das propriedades físicas da madeira: massa específica (básica, seca e anidra), retratibilidade máxima (tangencial, radial e volumétrica) e anisotropia de contração;
- c) Avaliação das propriedades mecânicas da madeira: flexão estática, compressão paralela às fibras, cisalhamento paralelo às fibras, flexão dinâmica, compressão perpendicular às fibras e fendilhamento;
- d) Avaliação da composição química da madeira: teor de extrativos solúveis em água fria, teor de materiais solúveis em NaOH a 1%, teor de extrativos totais, teor de lignina e teor de holocelulose.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. DADOS ESTATÍSTICOS REFERENTES AOS INCÊNDIOS FLORESTAIS OCORRIDOS NO BRASIL

"As perdas de madeira causadas pelo fogo têm sido registradas de maneira generalizada em todo o mundo. No Brasil, apesar da carência de dados estatísticos, sabe-se que os incêndios florestais queimam milhares de hectares de floresta todos os anos, com enormes prejuízos, tanto para o setor privado como para o setor público" (SOARES & TOZZINI, 1987).

No período de 1.984 a 1.987, em algumas unidades da federação foram registrados 1.527 incêndios, que consumiram um total de 111.838,20 ha de florestas. No mesmo período, somente em florestas implantadas de *Pinus* spp, foram registrados 165 incêndios consumindo uma área de 34.843,31 ha. No citado período, o estado de Minas Gerais destacou-se, entre as outras unidades da federação consideradas no estudo, por apresentar a maior extensão em área queimada, com 43.955,64 ha, seguido pelo Distrito Federal com 24.500 ha (SOARES, 1988).

No Brasil não existem estatísticas completas sobre ocorrências de incêndios florestais ou perdas econômicas resultantes dos mesmos. Uma estimativa de prejuízos financeiros causados por incêndios ocorridos em plantações florestais no país, de 1.983 a 1.988, revela que cerca de 201.263 ha de florestas foram queimadas durante o período estudado. O custo para replantar as

florestas atingidas pelo fogo seria de aproximadamente US\$ 154,3 milhões (SOARES, 1991). Contudo, o autor alerta sobre a possibilidade de nem todos os incêndios ocorridos no período terem sido catalogados e comunicados, o que significa que o prejuízo pode ter sido ainda maior do que aquele estimado.

No mês de setembro de 1.994, somente nos plantios da Indústria Trombini, localizados no município de Rio Branco do Sul - PR, foram queimados 840 ha de florestas implantadas de *Pinus* spp pela ação de um incêndio florestal ocorrido e registrado pela empresa (Comunicação Pessoal, 1994¹).

BRANCO (1995), citado por NEUMANN (1996), fazendo uma pesquisa com um grupo de 27 empresas, determinou prejuízos em torno de US\$ 5 milhões, no ano de 1994, com incêndios florestais. Do prejuízo levantado, somente a perda em madeira ficou em US\$ 1,648,070.00. O custo de combate aos 1.290 focos de incêndios alcançou US\$ 3,338,966.00. No levantamento foi constatado que as empresas perderam 19.266 ha de florestas plantadas e mais 13.712 ha de preservação permanente.

De maneira geral, as estatísticas apresentadas a partir de 1988 são expressivas e refletem com bom grau de aproximação o volume de perdas causadas pelo fogo.

¹ Comunicação feita por um funcionário da empresa durante uma visita aos plantios atingidos pelo incêndio. O fato foi também noticiado pelas emissoras locais de televisão à época.

2.2. EFEITOS DO FOGO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS

"O incêndio florestal é a rápida oxidação dos materiais orgânicos produzidos pelas plantas, acompanhada por intensa liberação de calor. Basicamente, o mesmo processo ocorre continuamente, em longos períodos de tempo, através dos vários organismos decompositores. Portanto, tecnicamente o fogo pode ser considerado um rápido decompositor.

Quando a combustão é completa, os elementos liberados pelo fogo são apenas água, dióxido de carbono e calor. Entretanto, na prática, certos materiais não chegam a ser queimados e outros são apenas parcialmente consumidos, resultando na liberação de combustível residual, fumaça, monóxido de carbono e outros produtos.

O calor liberado pelo fogo é o responsável primário pelos efeitos imediatos sobre as plantas, animais e solo. O combustível residual altera o solo e a qualidade do ar. A fumaça e o monóxido de carbono são responsáveis por efeitos sobre a qualidade do ar atmosférico.

Um incêndio florestal faz várias coisas. Primeiro, e talvez mais óbvio, ele consome material lenhoso. Segundo, ele libera calor, que mata ou danifica a vegetação, mata ou causa injúrias aos animais e danifica ou altera o solo. Terceiro, os constituintes minerais residuais podem causar efeitos químicos, os quais são importantes em relação à química do solo e nutrição das plantas. Um grande espectro de efeitos pode resultar dessas variações do fogo. Alguns podem ser imediatos e claramente visíveis, enquanto outros podem ser retardados e

difíceis de detectar. De qualquer maneira, o fogo sempre provoca alterações físicas, químicas e biológicas no ecossistema florestal" (SOARES, 1985).

Ainda, segundo o mesmo autor, podem ocorrer efeitos indiretos como por exemplo assoreamento de rios, redução do fluxo de cursos d'água, inundações, erosão e comprometimento das atividades de turismo e recreação, cujas conseqüências somente podem ser avaliadas com o tempo.

Muito embora vários possam ser os aspectos e os desdobramentos dos efeitos do fogo sobre o ecossistema, na presente revisão serão abordados somente os efeitos sobre a vegetação, por constituir parte do assunto sobre o qual versa o presente trabalho.

"O mais visível e conhecido efeito do fogo sobre a vegetação é o dano causado às árvores. Na realidade, mesmo um pequeno incêndio superficial pode provocar a morte de mudas e pequenas árvores, principalmente se o solo e o combustível estiverem secos. Entretanto, são os incêndios de copa que causam os maiores danos à vegetação. Estes incêndios se originam do crescimento de incêndios superficiais, durante condições climáticas adversas, em áreas de alta concentração de combustível e, devido à suas altas intensidades, podem destruir florestas de árvores adultas e, inclusive, resistentes ao fogo. Mesmo quando não matam as árvores, os incêndios podem deixar cicatrizes, facilitando a infestação por pragas e insetos, quando a intensidade é suficientemente alta para o calor penetrar através da casca e matar o câmbio. As árvores debilitadas pelo fogo podem ser derrubadas pelo vento, ou atacadas por insetos, mesmo vários anos após o incêndio" (SOARES, 1985).

Os danos causados às florestas nos incêndios florestais podem ser totais ou parciais: um incêndio queimando em uma plantação jovem de pinheiro fatalmente resultará em perda total do povoamento; em uma plantação adulta, devido à resistência das coníferas ao fogo, os danos certamente serão parciais, a não ser em incêndios de alta intensidade. As folhosas são menos resistentes ao fogo e, por isto, os incêndios matam a maioria das árvores das espécies latifoliadas. Mesmo quando não mata as árvores, o fogo pode causar danos parciais, como redução do incremento, favorecimento de ataque de fungos e insetos, produção de cicatrizes nos troncos e redução do valor da madeira (SOARES, 1994).

Em síntese, dentro do enfoque a ser dado na revisão, os danos causados pelos incêndios florestais podem ser relativos à vida e resistência das árvores compreendidas na floresta, bem como ao potencial tecnológico da madeira proveniente destas árvores, uma vez citado que pode ocorrer a redução do valor da madeira.

2.2.1. Danos Causados às Árvores Vivas

A capacidade de sobrevivência da floresta e de suas árvores às variações do fogo é determinada por vários aspectos como: espessura e umidade do córtex ou casca, profundidade da raiz e idade da planta (GRANGER, 1984).

CARVALHO (1986), julga ser indispensável "conhecer a estrutura da árvore, particularmente do tronco, sua fundamental constituição e o efetivo

comportamento térmico dos tecidos vivos, para que daí possa inferir-se a intensidade da agressão que principalmente sofre o material lenhoso”. O autor destaca a importância protetora da casca relacionando-a com sua espessura e tipo, constituição química, densidade, teor em água e difusão da umidade, bem como sua massa específica e sua transmissividade e, finalmente seu calor de combustão ou poder calorífico. Segundo o mesmo autor, o grau de carbonização da casca, imediatamente a seguir ao fogo, constitui valiosa indicação do nível de degradação do lenho.

Os danos causados pelos incêndios florestais às árvores maduras variam com a intensidade, tempo de duração e tipo de fogo (SOARES, 1971; GRANGER, 1984).

Em incêndios florestais de alta intensidade e duração apropriada, ocorre a morte de praticamente todas as árvores da floresta e diferenças de resistência ao fogo entre árvores de uma mesma espécie e entre espécies não são relevantes neste caso (BROWN & DAVIS, 1973).

Em incêndios florestais de média a baixa intensidade, somente parte das árvores da floresta é mortas, e diferenças relativas entre árvores com relação à sua resistência ao calor e susceptibilidade a injúrias tornam-se importantes, tanto no controle de incêndios não prescritos como em queimas controladas utilizadas no manejo de áreas florestais. Fogos que causam somente morte parcial são mais comuns (BROWN & DAVIS, 1973).

McARTHUR (1967), citado por SOARES & TOZZINI (1987), diz que os danos causados à floresta pelos incêndios dependem da espécie atingida e da intensidade do fogo. Para uma intensidade baixa, semelhante a uma queima

controlada, o fogo não apresenta efeito significativo. Quando a intensidade é moderada pode ocorrer o ataque de fungos e insetos devido à redução da resistência das árvores. Intensidades altas, no entanto, quando não resultam na morte das árvores, causam severos danos às mesmas, reduzindo significativamente o incremento e conseqüentemente o volume final de madeira na floresta.

Para se evitar a progressiva deterioração da madeira, inúmeros autores aconselham fazer o corte das árvores logo após a ocorrência do incêndio, iniciando-se pelas árvores que morreram, pois as que sofreram menores danos poderão permanecer por mais algum tempo no terreno, mas ficando-se alerta a fim de evitar a propagação de insetos e pragas que venham a se instalar após o fogo.

2.2.1.1. Efeito da Temperatura nos Tecidos Vivos das Árvores

Informações a respeito da temperatura interna necessária para causar a morte dos tecidos nas árvores e arbustos são escassas (BROWN & DAVIS, 1973).

“Não existem evidências que o protoplasma de uma espécie de planta vascular apresente maior tolerância térmica que uma outra qualquer, quando o protoplasma se encontra hidratado e em estado funcionalmente ativo” (BAKER, 1950, citado por BROWN & DAVIS, 1973). Em outras palavras, explicam os autores que diferenças na tolerância ao calor são regidas por diferenças no grau de isolamento ou proteção frente à fonte de calor, por parte das plantas.

Estudos realizados por NELSON (1952), citado por BROWN & DAVIS (1973), com acículas de quatro espécies de *Pinus* do sul dos E.U.A submersas em água a vários níveis de temperatura, revelaram que a 54°C a morte ocorreu em torno de seis minutos; a 60°C em trinta segundos e a uma temperatura de 64°C a morte das acículas ocorreu quase que instantaneamente. O autor observou também não ter havido diferenças significativas no tempo de morte médio para as diferentes espécies. O citado estudo levou o autor a determinar o ponto crítico da curva e apontar a temperatura de 64°C como ponto letal para os tecidos vivos.

De acordo com WRIGHT (1970), citado por BAILEY & WRIGHT (1982), a temperatura letal para o tecido vascular das plantas depende inicialmente do conteúdo de umidade do tecido e é uma função exponencial da temperatura e do tempo de exposição ao calor.

Segundo dados do mesmo autor, o tempo para causar a morte dos tecidos das plantas a uma temperatura de 60°C pode variar de dois a sessenta minutos, dependendo do teor de umidade do tecido da planta. As presenças de sais, açúcares, lignina e pectina, também são outras variáveis que podem influenciar na tolerância dos tecidos das plantas ao calor.

Todas as citações feitas anteriormente a respeito da temperatura letal ao tecido das plantas são referentes a temperaturas atingidas internamente ao protoplasma de células vivas. Temperaturas muito maiores, obviamente, podem ser sustentadas na superfície da planta por períodos não prolongados.

FAHNESTOCK & HARE (1964), citados por BAILEY & WRIGHT (1982), reportam que quando a temperatura na superfície externa da casca em *Pinus palustris* variou de aproximadamente 290 a 800°C, a temperatura do câmbio

variou de aproximadamente 38 a 82°C. Os autores também reportam que a temperatura externa deve estar próxima de 95°C para elevar a temperatura interna significativamente.

2.2.1.2. Efeito da Temperatura Sobre o Câmbio das Árvores

O tecido das plantas vasculares é facilmente morto pelo calor e pode chegar a tal a uma larga faixa de temperaturas quando o tempo de exposição a uma dada temperatura é suficientemente prolongado (HARE, 1961; YARWOOD, 1961; WRIGHT, 1970, citados por BAILEY & WRIGHT, 1982).

O que provoca injúria às árvores é o aumento da temperatura interna das células vivas situadas em pontos críticos, mais comumente localizadas no tronco, próximas à sua base, a um nível considerado letal. O floema e o câmbio são os primeiros a serem injuriados porque constituem as porções anatômicas mais próximas da camada exterior das árvores. Ainda que não injuriada inicialmente, a camada viva externa do xilema não pode continuar sua função se o câmbio é morto (BROWN & DAVIS, 1973).

O crescimento da árvore em diâmetro é devido ao meristema cambial. O câmbio é um tecido meristemático, isto é, apto a gerar novos elementos celulares, constituído por uma camada de células situada entre o xilema e o floema. Permanece ativo durante toda a vida do vegetal e é responsável pela formação dos tecidos secundários que constituem o xilema e o floema.

As substâncias retiradas do solo pelas raízes (água e sais minerais) ascendem na forma de seiva bruta pelos anéis de crescimento mais externos do xilema. Ao atingir as partes do vegetal que possuem clorofila, são transformadas pelo processo da fotossíntese em substâncias nutritivas (seiva elaborada), que descem pelo floema, nutrindo a árvore (BURGER & RICHTER, 1991).

Sintetizando o que dizem os autores supracitados, presume-se que o floema sendo injuriado, a função do xilema sendo descontinuada e tendo-se a morte de toda a extensão do câmbio devida à ação de uma temperatura suficiente para tal, a morte da árvore ocorreria pelo comprometimento do sistema nutricional e do seu crescimento diamétrico.

2.2.1.3. Efeito da Temperatura Sobre as Copas das Árvores

"Acima da zona de combustão de um incêndio superficial há uma faixa dentro da qual a folhagem é crestada e morta pelos gases quentes que se elevam das chamas. Experiências têm demonstrado que, pelo menos para as coníferas, a principal causa da mortalidade é o crestamento da copa, ao invés de danos ao câmbio" (SOARES, 1985).

O crestamento é a secagem letal da folhagem das árvores. As folhas crestadas não são consumidas pelo fogo, isto é, permanecem intactas, porém secas e mortas, com coloração marrom (SOARES & TOZZINI, 1987). Obviamente, estas observações são referentes a incêndios superficiais, pois em incêndios de

copa, a mesma é consumida pelas chamas e a taxa de mortalidade das árvores é grande.

De acordo com SOARES (1985), as cicatrizes eventualmente deixadas pelo fogo na base do tronco de uma árvore reduzem seu valor econômico, podem facilitar a penetração de fungos ou insetos, mas não comprometem diretamente sua sobrevivência. Para morrer apenas através de danos ao câmbio, uma árvore deve ser completamente anelada pelo fogo e um incêndio suficientemente intenso para tal fatalmente será capaz também de crestar toda sua copa.

Segundo ainda o mesmo autor, árvores de algumas espécies podem suportar a perda de grande parte de sua copa por crestamento sem mortalidade, embora a taxa de incremento seja temporariamente reduzida.

DIETRICH (1979), citado por SOARES & TOZZINI (1987), observou que as coníferas podem resistir e sobreviver ao crestamento letal de até 90% da sua altura média total. No entanto, não encontrou-se na literatura consultada a justificativa para a sobrevivência de árvores que apresentam-se nestas condições.

Enquanto o câmbio ou o meristema cambial é o responsável pelo crescimento diamétrico (também chamado crescimento secundário), o meristema apical é o responsável pelo crescimento em altura (também chamado crescimento primário ou apical) . Este representa uma porção ínfima da árvore e localiza-se no ápice do tronco e ramos. Por meio de sucessivas divisões celulares, novas células são acrescentadas para baixo, enquanto o tecido meristemático vai sendo deslocado para cima. As células produzidas pelo meristema apical vão constituir os tecidos primários (BURGER & RICHTER, 1991).

Nas árvores o crescimento apical é iniciado por um grupo de células chamadas iniciais apicais. A derivação imediata destas iniciais (chamadas células mãe) normalmente mantém a capacidade meristemática. As apicais iniciais e as células mãe são designadas protomeristema e constituem a frente de crescimento do ápice.

Tendo-se a continuidade do crescimento, as células do protomeristema diferenciam-se gradualmente formando três regiões mais ou menos distintas: protoderme (camada mais externa), procâmbio e o *ground meristem*.

A protoderme dá origem à epiderme. O procâmbio diferencia-se em xilema primário, floema primário e câmbio. Este último, por sua vez, inicia o crescimento secundário (crescimento diamétrico), formando o xilema secundário e o floema secundário. O *ground meristem* dá origem ao córtex, à medula e aos raios que iniciam-se na medula (TSOUMIS, 1991).

Pelo exposto acima, presume-se que a resistência e a sobrevivência das árvores de coníferas ao crestamento letal de até 90% da sua altura média total, devem-se à manutenção do meristema apical vivo. Isto porque, nestas condições, o mesmo não seria atingido por temperatura suficiente para provocar a sua morte, uma vez que situa-se no ápice do tronco.

De outro modo, no caso de crestamento letal total da copa das árvores, ou mesmo de seu consumo pela chama, presume-se que ocorreria a morte do meristema apical ocasionando a paralisação das suas funções que são vitais à planta, e por conseguinte, fatalmente resultaria na morte da árvore.

2.3. EFEITOS DO FOGO EM INCÊNDIOS FLORESTAIS SOBRE AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

CARVALHO (1986) conduziu um estudo a respeito da qualidade das madeiras de *Pinus pinaster* Ait., provenientes de povoamentos atingidos por fogo de grande intensidade na Mata Nacional de Leiria, com o objetivo de averiguar a eventual incidência depreciativa do fogo em consequência da degradação térmica da madeira e da degradação biológica subsequente, na referida floresta portuguesa.

Decorridos cinco meses após o incêndio, quando iniciou-se o estudo, de acordo com os ensaios desenvolvidos (densidade, retração volumétrica, coeficiente de retratibilidade volumétrica total, anisotropia, flexão estática, compressão axial, tração perpendicular e flexão dinâmica), o autor concluiu que “nas solicitações estáticas, a tensão de ruptura foi reduzida significativamente, reduzindo também a carga no limite proporcional, bem como o módulo de elasticidade, mas sobretudo o trabalho para a carga máxima. A compressão paralela também foi sacrificada mas a tração perpendicular foi muito pouco atingida. Inversamente, a resistência às solicitações dinâmicas ficou muito comprometida, especialmente a cota dinâmica”.

As conclusões anteriores foram relativas a corpos-de-prova retirados de árvores com DAP sobre casca inferior a 18 cm. As citadas alterações foram relacionadas pelo autor à degradação biológica subsequente ao incêndio ocorrido.

Em corpos-de-prova ensaiados, resultantes de árvores com DAP sobre casca entre 18 e 30 cm, foram registrados pelo autor supracitado, “acentuada

redução do trabalho para carga máxima e do valor desta característica, bem como da tensão de ruptura em flexão estática. Muito evidente foi, ainda, a redução da flexão dinâmica, expressa pelos dois índices mais característicos: trabalho de ruptura e coeficiente de resiliência”.

Os resultados acima foram obtidos a partir de ensaios realizados sete meses após o início do estudo, ou seja, um ano após a ocorrência do incêndio. As alterações foram também relacionadas pelo autor à degradação biológica subsequente ao período decorrido após o incêndio.

Em corpos-de-prova ensaiados, relativos às árvores com DAP sobre casca superior a 30 cm, o autor não detectou modificações significativas nas propriedades ensaiadas em comparações entre as madeiras queimada e não queimada, mesmo decorrido um ano após o sinistro.

BORTOLETTO JR. (1992) & MESQUITA (1992), submeteram madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, proveniente de uma floresta atingida por incêndio de copa, a ensaios físico-mecânicos e de secagem convencional, para posterior comparação com madeira não queimada da mesma espécie e concluíram:

- não ter havido diferença significativa entre as propriedades físicas para os dois tipos de madeira, exceto para o ensaio de contração tangencial, sendo que o valor médio encontrado para a madeira não queimada foi superior;
- entre as propriedades mecânicas foram constatadas diferenças significativas nos ensaios de flexão estática (módulo de elasticidade), compressão perpendicular às fibras (carga no limite proporcional), fendilhamento e dureza *Janka* (faces);

- no ensaio de compressão perpendicular às fibras, a madeira queimada comportou-se melhor que a madeira não queimada, apresentando valor médio superior. Nos demais ensaios mecânicos onde foram constatadas diferenças significativas, o valor médio referente à madeira não queimada foi superior;
- no ensaio de secagem convencional, a madeira não queimada foi classificada como de secagem rápida (158 horas ou 6,6 dias), e a madeira queimada como de secagem muito rápida (45 horas ou 1,8 dia);
- a análise visual dos defeitos oriundos do processo de secagem não revelou diferenças marcantes entre os dois tipos de madeira.

As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, utilizadas na referida pesquisa, foram coletadas aleatoriamente nos plantios da Empresa de Florestamento e Reflorestamento PROFLOTA, localizados na região do Distrito Federal, com espaçamento 3m x 2m, e 12 anos de idade. Os povoamentos de onde foram extraídas as árvores, queimadas e não queimadas, para a realização da pesquisa, não foram os mesmos, apesar de estarem contidos na região do Distrito Federal.

2.4. EFEITOS DA AÇÃO DO CALOR E DA TEMPERATURA SOBRE AS PROPRIEDADES DA MADEIRA EM SITUAÇÕES QUE NÃO SE REPORTAM ÀQUELAS OCORRIDAS EM INCÊNDIOS FLORESTAIS

BRITO (1997) relata que "em geral, muitos resultados na literatura alusivos à ação do calor sobre a madeira são conflitantes, podendo-se justificar o fato pela dependência que o processo tem em relação às condições em que a madeira se encontra e, principalmente, de como a experiência tenha sido conduzida". A forma de condução de uma dada experiência, ou de um processo, normalmente busca atender objetivos específicos.

"Vários são os tipos de processos onde ocorre a ação do calor sobre a madeira objetivando diferentes resultados. Provavelmente o mais antigo deles, mais tradicional e mais amplamente conhecido, constitui-se na própria combustão, onde ocorre a liberação de energia química, contida nos componentes orgânicos da madeira sob a forma de energia calorífica, conhecido como queima da madeira.

Outros exemplos de processos, nos quais a madeira também sofre total transformação sob a forte ação do calor, são a carbonização, a destilação seca e a gaseificação, objetivando principalmente obter carvão vegetal, líquidos pirolenhosos e gases, respectivamente" (BRITO, 1997).

Outros processos conhecidos em que o calor pode atuar de maneira controlada sobre a madeira, buscando obter efeitos em sua maioria benéficos, são a secagem, o cozimento de toras para laminação, prensagem a quente para produção de compensados, chapas de fibras e chapas de partículas. Mesmo nestes processos, quando a temperatura é utilizada sem critério definido, os

resultados podem ser danosos ao equipamento em si, bem como às características dos produtos resultantes.

Sabe-se também que a madeira em serviço pode ficar sujeita à ação extrema de temperaturas altas ou baixas, por exemplo, em situações como a de estruturas expostas atingidas por incêndios ou estruturas localizadas em regiões geladas, tais como a Antártida, respectivamente. Outras situações menos extremas também podem ocorrer em certas aplicações da madeira, por exemplo, em estruturas de cobertura.

Destas observações resulta que o maior volume de conhecimento sobre a atuação da temperatura e seus efeitos sobre as propriedades da madeira se reporta aos processos e às condições de uso acima exemplificadas, que não correspondem inteiramente ao que ocorre nos incêndios florestais

2.4.1. Fases da Ação do Calor na Madeira

"O primeiro conceito a ser lançado quanto à ação do calor na madeira é o da pirólise. Trata-se de um conceito químico, em que a pirólise é definida como sendo um processo onde ocorre a ação do calor, sob condições em que são observadas fortes transformações na estrutura original da madeira. Neste conceito, a ação do calor ocorre sob atmosfera não-oxidante e na ausência de catalisadores" (BRITO, 1997).

Já a combustão é entendida como um processo químico onde duas ou mais substâncias reagem com evolução de calor, luz e produtos residuais (IPT, 1986).

Para que ocorra a reação de combustão, três elementos são imprescindíveis ao processo: material combustível, oxigênio e calor, conhecidos como elementos componentes do "triângulo do fogo".

Como citado por IPT (1986), "apesar de podermos observar que pedaços de madeira queimam com formação de labaredas, a madeira não entra em combustão diretamente¹. Primeiro ela se decompõe por pirólise em produtos voláteis e combustíveis que, após a ignição, irão formar a chama". Portanto, no curso da pirólise e da combustão normal da madeira pode ser observada a ocorrência dos seguintes fenômenos químicos consecutivos:

a) pirólise da madeira: transformação dos constituintes da madeira (compostos de elevado peso molecular), por degradação térmica, em compostos de reduzido peso molecular;

b) combustão dos produtos de pirólise: oxidação, pelo oxigênio do ar, das substâncias geradas na etapa anterior.

Ainda segundo o IPT (1986), através do detalhamento destes fenômenos químicos, pode-se identificar vários estágios na queima da madeira. Para tanto, deve-se considerar uma peça de madeira plana, não tratada e exposta a uma fonte de calor duradoura, de intensidade constante e razoavelmente elevada. A partir daí, a superfície da madeira será aquecida por mecanismos de irradiação e/ou convecção de calor.

¹ "Somente em casos específicos a madeira pode entrar em combustão diretamente, tais como: se a superfície da madeira sofrer uma radiação de calor tão intensa que atinja a temperatura de ignição, em frações de segundo, pode-se considerar que a madeira entrou em combustão diretamente; se o pó de madeira seca estiver suspenso no ar, em proporções que garanta a presença de oxigênio suficiente para sua combustão e que mantenha uma elevada densidade, poderá haver uma rápida combustão, até com explosão" (IPT, 1986).

Devido às características físicas da madeira (baixa condutibilidade térmica, baixa densidade, elevado calor específico), formam-se zonas isotérmicas que, desprezando os efeitos de borda, terão a forma definida pela superfície exposta ao aquecimento e ser-lhe-ão paralelas.

No decorrer do aquecimento, estas isothermas irão avançar pela peça de madeira, no sentido do fluxo de calor, até que a temperatura do meio, atrás da peça de madeira, se equilibre com a dos meios que contêm a fonte de calor.

O avanço das isothermas cria regiões definidas pelo autor por "Zonas", as quais são caracterizadas a seguir:

Zona A: até 200 °C, é caracterizada pela geração de gases como vapor d'água, traços de gás carbônico (CO₂), ácido fórmico, ácido acético e glioxal. Nesta fase o processo de pirólise é endotérmico e, do ponto de vista da combustão, a mistura gasosa não é inflamável. Basicamente, o que ocorre é a secagem da madeira. A presença de água na madeira aumenta a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura da madeira, pois parte dela será consumida por evaporação. Por outro lado, a presença da água aumenta a condutibilidade térmica da madeira, aumentando, conseqüentemente, o fluxo de calor pela região úmida.

Considerando que na superfície da madeira origina-se uma região rica em vapor d'água e que, no centro da peça de madeira, haverá um fluxo efluente de vapor d'água, pode-se admitir que, no interior da peça de madeira, se tenha expulsado o ar, impedindo sua penetração. Portanto, no interior desta peça haverá

um ambiente sem oxigênio, onde não ocorrerão reações de combustão, mas apenas de pirólise.

Zona B: entre 200 e 280 °C, ocorre uma pirólise suave da madeira com caráter endotérmico, sendo produzidos os mesmos gases da zona A, ocorrendo uma diminuição substancial nos vapores d'água, aumento na concentração de CO₂, e a liberação de monóxido de carbono em menor proporção.

Do ponto de vista da combustão, os gases produzidos nesta fase não são facilmente inflamáveis, porém pode-se atingir condições exotérmicas a temperaturas inferiores que na pirólise em ambiente sem ar. A temperatura na qual o balanço energético entre a pirólise endotérmica e a combustão exotérmica apresenta um saldo, perceptivelmente exotérmico, é adotada como definição do ponto de ignição da madeira¹. Ao final desta fase há uma perda de massa da madeira da ordem de 12% sobre a inicial.

Zona C: de 280 a 500 °C. Nesta fase, o efeito global do processo de pirólise é exotérmico e a massa residual sólida, resultante da pirólise, é o que se denomina carvão vegetal. Aqui, a degradação térmica da madeira gera monóxido de carbono, metano, formaldeído, ácido fórmico, ácido acético, metanol e hidrogênio, que desprendem-se do sistema, diluídos com os produtos de pirólise das zonas A e B.

Também são gerados alcatrões altamente inflamáveis, que em sua fase gasosa efluente são denominados fumaça.

¹ Segundo IPT (1986) o ponto de ignição da madeira tem sido determinado por vários pesquisadores com certas discrepâncias: 235 a 240°C, 232 a 260°C, 192 a 220°C e até em torno de 150°C.

Os produtos obtidos nesta fase estão sujeitos a reações secundárias, são inflamáveis e podem ser inflamados por uma chama piloto ou por ignição espontânea, por aquecimento até a temperatura de ignição da mistura gasosa. Ocorre uma chama luminosa de difusão decorrente da queima dos gases e vapores efluentes da peça de madeira que atingem temperaturas da ordem de 1100 °C.

O calor de combustão é, em parte, usado para manter o processo de pirólise/combustão.

O carvão formado tende a diminuir a combustão, pelo efeito de isolamento térmico que possui, o que reduz a quantidade de calor que tem acesso ao interior da peça. Nesta fase, entre as temperaturas de 280 e 350°C a madeira perde uma grande quantidade de sua massa inicial, em torno de 68%; e entre as temperaturas de 350 e 370°C a massa diminui para cerca de 20% do valor inicial.

Zona D: acima de 500°C, onde o carvão já se encontra formado. Nesta fase ocorrem reações de H_2O e CO_2 com o carvão, formando monóxido de carbono, hidrogênio e formaldeído.

Do ponto de vista da combustão, os produtos efluentes da zona D são altamente inflamáveis e podem manter a combustão com chama luminosa de difusão, enquanto houver a sua produção por pirólise da madeira nas zonas anteriores.

A 500°C (calor vermelho incipiente) ocorre também a combustão do carvão vegetal em fase sólida. Nota-se a incandescência do carvão neste estágio. Quando a temperatura da superfície da peça de madeira, agora convertida em

carvão vegetal, atingir a temperatura de 1000°C (calor vermelho-amarelado), a velocidade de consumo do carvão vegetal por incandescência será maior que a velocidade de penetração das isothermas no interior da peça de madeira. À medida que se exaure a madeira intacta, a chama luminosa de difusão da queima dos produtos de pirólise da madeira é substituída por outra não-luminosa de difusão, da queima de monóxido de carbono e hidrogênio.

Após esgotar o monóxido e o hidrogênio, resta apenas a incandescência do carvão vegetal com pequena ou nenhuma chama.

Ainda de acordo com IPT (1986), a ocorrência da pirólise da madeira segue a seguinte ordenação com relação aos seus principais constituintes: pirólise das hemiceluloses (225 e 325°C); pirólise da celulose (325 e 375°C); pirólise da lignina (250 e 500°C).

Segundo BRITO (1997), o comportamento da madeira em relação à sua perda de massa também tem sido utilizado como critério para a identificação das fases do comportamento da madeira durante a pirólise, devido ao fato da existência de fortes correlações entre as reações químicas que ocorrem durante a elevação da temperatura e os níveis de perda de massa observados durante o processo. Assim, o autor cita a existência de até cinco fases distintas de perda de massa durante a pirólise, propostas nos trabalhos de VOVILLE & MELLOOTTEE (1982) e GUEDIRA (1988), conforme transcrito a seguir:

"1ª Fase - situa-se entre a temperatura ambiente e 100 °C, e corresponde à eliminação da chamada "água livre" e "higroscópica" da madeira, que fica retida no lúmen e paredes das células;

2ª Fase - situa-se entre 100 e 250 °C, também está ligada à eliminação de água. Uma parte dessa água ainda é chamada "higroscópica", retida pelas paredes celulares e considerada como estando adsorvida junto às funções hidroxilas das cadeias de polissacarídeos e da lignina. Outra parte da água é chamada "água de constituição", cuja eliminação é acompanhada por uma degradação irreversível da madeira, e que corresponde à destruição dos grupos hidroxílicos propriamente ditos;

3ª Fase - ocorre entre 250 e 330 °C e, em geral, corresponde essencialmente à destruição das hemiceluloses;

4ª Fase - é situada entre 330 e 370 °C, supondo-se que a mesma esteja ligada à destruição da celulose;

5ª Fase - manifesta-se a temperaturas acima de 370 °C, e corresponde à fase onde o carvão vegetal encontra-se efetivamente produzido. Geralmente esta fase está fortemente agregada ao início da degradação da lignina".

2.4.2. A Ação do Calor e os Fatores de Influência

De acordo com MARTIN (1984), citado por BRITO (1997), existem vários fatores que podem agir sobre a natureza e o rendimento dos produtos da pirólise da madeira. Estes fatores, divididos em duas classes, são assim mencionados e transcritos:

"a) fatores ligados à natureza da madeira: composição elementar, a repartição quantitativa dos três principais polímeros (celulose, hemiceluloses e lignina), a condutividade térmica, o poder calorífico, a densidade, a resistência mecânica, a granulometria, a natureza e a quantidade de materiais minerais;

b) fatores ligados às condições operatórias: a temperatura, a pressão, o tempo de residência dos produtos na zona de aquecimento, os fluxos térmicos e os coeficientes de transferência de calor resultantes da taxa de aquecimento, da granulometria e da natureza da madeira, a hidrodinâmica dos produtos fluidos, e o pré-tratamento químico ou térmico efetuado sobre a madeira".

Com relação à matéria-prima, consensual é considerar que o resultado da ação do calor sobre a madeira corresponde a uma combinação proporcional de resultados que possam ser obtidos dessa mesma ação sobre a celulose, hemiceluloses e lignina, individualmente. Isto tem direcionado as pesquisas não somente sobre a madeira, mas também sobre cada um de seus constituintes isolados (PETROF & DOAT, 1978 *apud* BRITO, 1997).

Pelo fato da celulose representar juntamente com outros polissacarídeos a maior parcela, em geral 65%, dos componentes químicos da madeira, é possível considerar-se que o comportamento da madeira tenha grande dependência dos fenômenos termodegradativos ocorrendo sobre tais polissacarídeos (BRITO, 1997).

Segundo o mesmo autor, o fato é confirmado por SHAFIZADEH (1976) ao concluir que para *Populus* submetido à pirólise até 500°C, foi observada uma clara

similaridade de comportamento termodegradativo entre a madeira e a sua celulose isolada.

Também é comprovado o fato que a celulose e as hemiceluloses de folhosas apresentam menor resistência à ação do calor em comparação à lignina, termodegradando-se mais rapidamente nas faixas entre 200 e 400°C (BEALL *et alii*, 1974 e BRITO & BARRICHELO, 1979, citados por BRITO, 1997).

Além de alterações químicas sofridas pela madeira durante a pirólise, ocorrem ainda várias modificações físicas, tais como: mudança contínua na cor da madeira; abertura, coalescência e mudanças no tamanho e distribuição dos poros; fissuração; diminuição da densidade aparente, entre outras (GOMES & OLIVEIRA, 1980, citados por BRITO, 1997).

São também registradas contrações volumétricas para a madeira e resíduos sólidos durante a pirólise, cujo nível varia em função da temperatura, sendo mais acentuado no sentido tangencial (WENZL, 1970 citado por BRITO, 1997).

Com relação ao processo e às condições operatórias, entre os demais fatores já citados, a temperatura tem sido eleita como o principal fator a exercer influência sobre a ação do calor na madeira. Neste sentido, enfoque especial também deve ser dado à taxa de aquecimento (BRITO, 1997).

O mesmo autor, citando resultados obtidos por MARILLER (1924), WENZL (1970) e BEAUMONT (1985), coloca que na ocorrência de transformações na natureza do resíduo sólido, obtido nas diferentes fases de ação do calor sobre a madeira, através do processo de pirólise, tem-se o aumento no teor de carbono e

reduções nos teores de hidrogênio e oxigênio, em relação à evolução da temperatura a partir de 200°C.

Os mesmos efeitos são também apresentados e quantificados pelo IPT (1986), demonstrando a redução do rendimento em carvão sobre madeira seca com a evolução da temperatura a partir de 240°C até a temperatura de 1000°C.

Este último autor explica que quando a pirólise é efetuada com aquecimento suave produz-se mais carvão e menos produtos inflamáveis, ocorrendo um estágio em que a decomposição da madeira se processa de maneira que haja a produção de moléculas estáveis, ricas em carbono e com a estrutura carbônica convergindo para a estrutura hexagonal do carbono grafítico. Por outro lado, quando a pirólise é efetuada com aquecimento intenso, as macromoléculas dos constituintes da madeira podem ser decompostas, predominantemente em produtos voláteis e com pouca possibilidade de arranjo estrutural ordenado do resíduo sólido.

2.4.3. Efeito da Temperatura em Estudos de Retificação Térmica da Madeira

BRITO (1997) desenvolveu um amplo estudo sobre retificação térmica da madeira. O estudo compreendeu tratamentos com aplicação de calor sobre a madeira, numa faixa de temperatura em que, supostamente, as transformações que esta sofreria não seriam suficientes para comprometer sua natureza estrutural. Além do resguardo de tal condição, o autor trabalhou com a hipótese de

que algumas possíveis transformações seriam benéficas quanto ao aprimoramento da qualidade da madeira.

Mediante a aplicação do referido tratamento, denominado "retificação térmica" ou "termo-retificação" da madeira, os produtos sólidos obtidos foram avaliados quanto às suas características físicas, mecânicas, químicas e seus comportamentos em relação a tratamentos com vernizes e colas, e resistências ao ataque de microorganismos apodrecedores e cupins, tendo como referência a madeira original.

Para realizar o seu estudo, o autor utilizou-se de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 20 e 25 anos de idade, respectivamente. As condições de tratamento adotadas foram as seguintes: taxa média de aquecimento de 0,033°C/min; temperaturas finais de 120, 140, 160 e 180°C; tempo à temperatura final de 14 horas, sobre as madeiras secas a teores iniciais de 3 e 4%. Os tratamentos foram realizados em estufa laboratorial dotada de circulação forçada do ar com aquecimento por resistência elétrica, e controle automático e programável de temperatura.

Da avaliação dos tratamentos em comparação com os controles, o autor concluiu o seguinte:

- a termoretificação proporcionou alterações nas características da madeira em relação à composição química, sendo observada uma tendência para redução dos açúcares responsáveis pela formação das hemiceluloses e aumento nos teores de lignina; tendência de aumento dos extrativos totais para *Eucalyptus*

(sobretudo à temperatura de 180°C) e de decréscimo para o *Pinus* de forma bastante significativa;

- a densidade verdadeira do *Pinus* não foi alterada pelo tratamento térmico nem induziu a alguma tendência significativa; o *Eucalyptus* apresentou tendência significativa para um acréscimo em sua densidade verdadeira em função do aumento da temperatura dos tratamentos; observou-se pequena tendência para o aumento da permeabilidade em função do aumento da temperatura para o *Pinus*; a massa específica não foi influenciada pelos tratamentos térmicos para ambas espécies;
- no caso das propriedades mecânicas, a madeira de *Eucalyptus* foi mais alterada pelo aquecimento. Esta ação ocorreu principalmente no sentido da diminuição da resistência ao cisalhamento e à flexão estática. A madeira de *Pinus* esteve menos sujeita a ter suas resistências reduzidas e, na maioria dos casos, a sensibilidade para tal somente foi observada ao nível das temperaturas mais elevadas. Neste caso, tal comportamento ocorreu após ter-se observado um aumento de resistência às temperaturas precedentes, sugerindo, para esta espécie, a existência de um ponto de máximo observado entre 140 e 160°C. No caso do *Eucalyptus*, isto ocorreu somente para a resistência à compressão paralela.

Finalmente, considerando a magnitude dos acréscimos e das reduções de resistência das duas espécies, o autor concluiu que os mesmos não foram suficientes para indicar se as madeiras termoretificadas são mais ou menos aptas para suas utilizações para fins estruturais.

Outros aspectos foram também observados, como mudanças marcantes na cor (escurecimento) da superfície das madeiras em função dos tratamentos térmicos, o que poderia resultar num instrumento útil na indústria moveleira.

As madeiras termoretificadas não mostraram comportamentos diferenciados da madeira original, em relação às suas propriedades de envernizamento e de colagem, mas foi observado o aumento significativo da estabilidade dimensional, bem como da resistência ao ataque de fungos apodrecedores da madeira termoretificada em relação à madeira original.

2.4.4. Efeitos das Altas Temperaturas de Secagem Sobre as Propriedades da Madeira

A diferença entre o método a altas temperaturas e o método convencional para a secagem da madeira está no fato de que o primeiro utiliza-se de temperaturas de secagem mais elevadas, ou seja, a temperatura do bulbo seco de um psicrômetro é sempre maior que 100°C; enquanto a de bulbo úmido pode ser menor que 100°C no caso da secagem com ar úmido superaquecido, ou 100°C no caso de secagem com vapor superaquecido; isto é, somente vapor e não ar (TSOUMIS, 1991).

O uso de altas temperaturas promove uma secagem muito rápida da madeira, o que aumenta em muito a produtividade do processo. O método, no

entanto, não é recomendado para madeiras que possuam alto teor de umidade inicial, com estrutura anatômica que não permita a saída rápida da umidade.

O uso do método a altas temperaturas tem tido sucesso com vários tipos de "madeiras leves", mas o uso do método na secagem de "madeiras duras" deve ser feito com cautela no sentido de se efetuar uma pré-secagem até atingir-se conteúdos de umidade entre 20 e 25% a temperaturas mais amenas, pois algumas destas madeiras tendem ao colapso (VILLIÈRE, 1966 *apud* TSOUMIS, 1991).

TSOUMIS (1991), citando ROSEN (1981) e SMITH (1979), expõe que o método de secagem em referência confere à madeira menor higroscopicidade e, citando PRATT (1974), maior estabilidade dimensional. Estas modificações são consideradas positivas.

Por outro lado, altas temperaturas de secagem podem causar descoloração (normalmente escurecimento)¹ e exudação de resina na superfície da peça de madeira, bem como enfraquecimento dos nós. A exposição da madeira com altos teores de umidade a altas temperaturas pode também resultar na redução de algumas de suas propriedades de resistência como o módulo de ruptura, o módulo de elasticidade e a resistência ao choque, devido à degradação térmica da madeira. Isto é o que diz TSOUMIS (1991), citando SIMPSON (1983/1984).

Em todos os casos, o mesmo autor diz que os efeitos mencionados dependem da espécie e do tempo de exposição, afirmando também, baseado em

¹ TOMASELLI (1977) também observou o fato em seu experimento, porém constatou que tal escurecimento foi removido desbastando-se a superfície da peça de madeira numa profundidade aproximada de 1mm. O escurecimento superficial somente persistiu quando o material foi seco para um teor de umidade muito baixo, em torno de 5%.

KOCK (1977), KOLLMANN & CÔTÉ (1968) e SMITH & SIAU (1979), que algumas referências têm sido feitas no sentido de que não ocorrem mudanças na resistência da madeira, ou ainda outras contrárias, que pode ocorrer a melhoria das propriedades naquelas circunstâncias.

Tais afirmações foram também constatadas por TOMASELLI (1977) em face da própria interpretação de sua extensa revisão bibliográfica sobre a influência das altas temperaturas de secagem sobre as propriedades da madeira.

O mesmo autor constatou que a comparação e a interpretação dos resultados publicados até aquele momento era dificultosa, especialmente devido à variação nos procedimentos experimentais e nos resultados obtidos através dos mesmos.

Como conclusão geral do seu trabalho, TOMASELLI (1977) afirma que a secagem da madeira de *Pinus radiata* utilizando altas temperaturas, ao nível de 180°C, não reduz suas propriedades de resistência, desde que seja utilizada uma velocidade do ar apropriada (em seu experimento utilizou 5m/s com 180°C e 10 m/s com 140°C), e que a madeira não seja seca para um teor de umidade muito baixo (supostamente não menor que 10%).

2.4.5. Efeito da Temperatura no Cozimento de Toras para Laminação

MEDINA (1986) afirma ser esta uma área onde há muita divergência de opiniões. KEINERT Jr. (1994) diz que a temperatura é o fator que pode ser

controlado mas ao mesmo tempo é o mais controverso de todos. Alguns cientistas dizem que a temperatura de uma tora é fator dominante no controle de qualidade, como por exemplo suavidade, rigidez, controle de espessura, defeitos, conteúdo uniforme de umidade após a secagem e qualidade de adesão entre lâminas. Segundo o mesmo autor, outros cientistas dizem que a seção de aquecimento de uma indústria não vale o custo de instalação.

O processo de aquecimento de toras promove a plasticização ou o amolecimento da madeira, favorecendo o faqueamento e o desenrolamento, bem como o processo subsequente de secagem das lâminas produzidas (KOLLMANN; KUENZI & STAMM, 1975).

Enquanto o citado efeito facilita o corte na laminação de madeiras densas, pode amolecer demasiadamente madeiras de menor densidade, causando o desgarramento das fibras e produzindo lâminas com superfície felpuda (LUTZ, 1978 citado por MEDINA, 1986).

TSOUMIS (1991) afirma que o aquecimento em água quente ou vapor amolece a madeira e facilita o corte, trazendo efeitos adicionais como o prolongamento da vida da faca, o aumento da taxa de produção, a equalização da umidade entre cerne e alburno, alterações na cor, o extermínio de fungos e insetos que estiverem instalados na madeira e a melhora da qualidade da lâmina com relação à lisura da superfície, bem como reduz as rachaduras.

O aquecimento da madeira gera uma expansão tangencial e uma contração radial que, dependendo da espécie e da temperatura, pode resultar em rachaduras de topo, o que é um efeito negativo. Segundo LUTZ (1978), citado por

MEDINA (1986), este movimento térmico origina rachaduras com temperaturas superiores a 66°C.

De acordo com KOCH (1972), a temperatura normalmente utilizada para laminar *Pinus* é de 60°C. Para BALDWIN (1975), temperaturas situadas na faixa entre 21 e 70°C seriam as mais apropriadas para laminar o *Pinus*.

TSOUMIS (1991) relata que a temperatura de aquecimento de toras em água normalmente não ultrapassa temperaturas da ordem de 80 a 90°C.

O tempo de aquecimento da tora para atingir uma dada temperatura, na qual obteriam-se os efeitos benéficos da plasticização, depende de vários fatores tais quais espécie, diâmetro, teor e gradiente de umidade, temperatura inicial, tipo de tanque de aquecimento e meio utilizado como aquecedor (KOLLMANN *et alii*, 1975 citado por MEDINA, 1986).

Concluindo sobre alguns efeitos do aquecimento de toras disponíveis na literatura, KEINERT Jr. (1994) menciona ser o único efeito maléfico a redução da resistência mecânica de lâminas secas. Tal efeito seria decorrente do uso de tempos e temperaturas excessivas no cozimento de toras, que trariam o efeito de redução permanente da resistência, mais pronunciados em folhosas que em coníferas.

Exemplificando o fato supracitado com um caso disponível na literatura, o autor diz que *Pseudotsuga taxifolia* Britt. e *Picea sitchensis* Carr. quando aquecidas em água por 50 dias a 66°C, perderam 10% do seu módulo de ruptura (MOR), em relação a controles não aquecidos.

As mesmas espécies, quando aquecidas a 93°C tiveram redução do MOR em 10%, em cerca de 10 a 12 dias. O módulo de elasticidade foi menos atingido. Para estas mesmas condições de aquecimento com as citadas coníferas, *Betula lutea* Mich., uma folhosa, teria a mesma perda de resistência em cerca de 6 a 7 dias.

2.4.6. Efeito da Temperatura Sobre as Propriedades de Resistência e Elasticidade da Madeira em Geral

Os efeitos da temperatura sobre as propriedades de resistência e elasticidade da madeira podem ser classificados como temporários ou permanentes. Efeitos temporários são aqueles que existem somente a uma particular temperatura envolvida, e independem do período de exposição para uma alta ou baixa temperatura. Os efeitos permanentes ficam retidos após a madeira ser restabelecida à temperatura normal, e são uma função da duração da temperatura e da sua própria magnitude (WANGAARD, 1950).

As propriedades de resistência da madeira sofrem redução quando ela é aquecida; o montante desta perda é maior na madeira úmida que na madeira seca. Isto pode ser esperado, desde que a plasticidade da madeira, especialmente da sua lignina componente, aumente com a elevação da temperatura. Apesar dos dados que comprovam esta afirmação não serem extensos, eles são suficientes

para indicar o modelo geral do fenômeno (BROWN, PANSIN & FORSAITH, 1952).

Segundo HAYGREEN & BOWYER (1989), a maioria das propriedades mecânicas decresce quando a madeira é aquecida, e aumenta quando a mesma é resfriada. Enquanto a temperatura não excede 100°C, há pouca perda permanente de resistência da madeira.

Os mesmos autores afirmam que a exposição da madeira a altas temperaturas, por longos períodos, pode causar a perda permanente de resistência. Geralmente, as madeiras com teores de umidade mais elevados são também mais sensíveis às altas temperaturas.

O efeito que a exposição a altas temperaturas tem sobre a madeira tende a ser cumulativo, isto é, a soma dos tempos de curta exposição a alta temperatura pode ser equivalente a uma única exposição de igual duração.

Períodos curtos de exposição a altas temperaturas, quando não suficientes para que o interior da madeira atinja a temperatura de equilíbrio com o meio externo, podem causar somente deterioração superficial (HAYGREEN & BOWYER, 1989).

Em geral, a resistência da madeira é reduzida com o aumento da temperatura (COMBEN, 1955 e 1964; RUSCHE, 1973, citados por TSOUMIS, 1991).

Segundo TSOUMIS (1991), tal redução é influenciada por fatores como teor de umidade da madeira, nível da temperatura e duração do aquecimento, maneira do carregamento, espécie de madeira e dimensões das peças. A redução pode

também derivar de rachaduras resultantes das mudanças ocorridas no teor de umidade da madeira devido à ação da temperatura¹. O aumento da temperatura reduz o módulo de elasticidade e a redução é maior com o aumento do teor de umidade².

A duração do aquecimento é muito importante. Temperaturas inferiores a 100°C não têm efeito adverso quando a madeira é exposta por curto período de tempo, mas temperaturas maiores que 65°C podem ter um efeito adverso e permanente com a longa duração do aquecimento. Uma temperatura de 200°C reduzirá a resistência em poucos minutos (GALLIGAN, 1975 citado por TSOUMIS, 1991).

De acordo com TSOUMIS (1991), o efeito degradante da longa duração é devido à decomposição química da madeira.

A deterioração e a conseqüente perda de resistência são mais acentuadas quando a madeira é aquecida em vapor saturado do que quando em ar seco à mesma temperatura (WANGAARD, 1950). O aquecimento em água quente teria um efeito intermediário (STAMM, 1964 e WANGAARD, 1950, citados por TSOUMIS, 1991).

MACLEAN (1945), citado por WANGAARD (1950), estudando a influência permanente das altas temperaturas sobre as propriedades da madeira, baseado em ensaios com pequenos corpos-de-prova de diversas espécies, descobriu que as propriedades indicativas da resistência ao choque (flexão dinâmica e trabalho

¹ Estas mudanças são relativas às contrações que se tornam efetivas na madeira quando esta seca abaixo do ponto de saturação das fibras (TSOUMIS, 1991).

² Este efeito foi mencionado por TSOUMIS (1991) apresentando um gráfico que mostra a variação do MOE com o aumento da temperatura em função de 3 teores de umidade (0, 15 e 30%), para madeira de Scot pine.

para carga máxima na flexão estática) são muito mais sensíveis aos efeitos da deterioração por aquecimento que o módulo de ruptura ou o módulo de elasticidade obtidos em ensaios estáticos.

MACLEAN (1945), ainda citado por WANGAARD (1950), não encontrou alteração em nenhuma das propriedades da madeira quando ensaiadas à temperatura ambiente, após aquecidas a 160°C, em estufa, por 1/2 hora. Após aquecimento dos corpos-de-prova nas mesmas condições e por um período de 16 horas, e posteriormente ensaiados à temperatura ambiente, todas as propriedades apresentaram uma ligeira redução, sendo que as propriedades indicativas da resistência ao choque foram reduzidas em cerca de 50 a 80% em relação aos controles.

Várias propriedades são alteradas pela temperatura de diferentes modos (KOLLMANN, 1960 e RUSCHE, 1973, citados por TSOUMIS, 1991) .

A flexão dinâmica é especialmente sensível. Em baixos teores de umidade o valor desta propriedade é reduzido e, em conteúdos de umidade maiores, aumenta com o aumento da temperatura (ILLSTON, DINWOODIE & SMITH, 1979, citados por TSOUMIS, 1991).

2.5 OUTROS FATORES QUE INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MADEIRA

TSOUMIS (1991), baseado em GIORDANO (1971); ILLSTON, DINWOODIE & SMITH (1979); KELLOGG (1969); KOLLMANN & CÔTÉ (1968) e WANGAARD (1950), diz que a densidade e o peso específico da madeira são influenciados pela umidade, estrutura anatômica, extrativos e composição química.

A densidade da madeira varia sob a influência dos fatores mencionados acima. Estes fatores, e com eles a própria densidade, variam dentro da árvore, entre árvores da mesma espécie e entre árvores de espécies diferentes. Dentro da árvore, existem variações no sentido longitudinal ou vertical (base para o topo) e no sentido transversal ou horizontal (medula para casca) (TSOUMIS, 1991).

Segundo KOLLMANN & CÔTÉ (1968), variações na densidade da madeira são devidas a diferenças na sua estrutura e a presença de constituintes estranhos como os extrativos e as cinzas.

De acordo com os mesmos autores acima, a estrutura da madeira é caracterizada por quantidades proporcionais de diferentes tipos de células, tais quais fibras, traqueídes, vasos, parênquimas, canais de resinas, raios e pelas suas dimensões, especialmente no que concerne à espessura das paredes celulares.

Segundo TSOUMIS (1991), a avaliação da influência das características microscópicas é difícil e, por este motivo, a relação entre estrutura e densidade é examinada com base em fatores que podem ser facilmente medidos como a largura dos anéis de crescimento e a proporção de lenho tardio.

MUÑIZ (1993) diz que, de acordo com vários autores, a massa específica caracteriza-se por apresentar grande variação entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e mesmo dentro de uma única árvore, podendo ser explicada pela proporção de parede celular, posição no tronco, percentagem de lenho tardio e largura dos anéis de crescimento, entre outros fatores.

TRENDELEMBURG & MAYER-WEGELIN (1956), citados por KLOCK (1989), dizem que a massa específica de uma espécie varia, geralmente, em torno de 30% em relação à sua média.

MUÑIZ (1993), concluindo através das informações disponíveis na literatura, cita que para as espécies do gênero *Pinus*, o modelo de variação mais comum, tanto para massa específica como para a percentagem de lenho tardio, é decrescente com a altura e crescente com a idade, no sentido da medula para a casca.

A percentagem de lenho tardio é uma variável que apresenta significativa afinidade com as propriedades de resistência (MORESCHI, 1975). Para BROW *et alli* (1952), citado por MUÑIZ (1993), este tipo de lenho possui maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho inicial, o que se traduz em maior massa específica. KNIGGE & SCHULS (1966), citados por MUÑIZ (1993), confirmam serem estes fatos facilmente verificados em coníferas, as quais apresentam acentuada diferença de massa específica e estrutura entre os lenhos inicial e tardio, sendo que quanto maior é a proporção deste último tipo de lenho, maior é a resistência da madeira.

Outra fonte de variação nas propriedades da madeira diz respeito à ocorrência dos lenhos adulto e juvenil. A proporção de suas presenças na madeira

está em função da idade da árvore. Segundo PEARSON & GILMORE (1971), citados por MUÑIZ (1993), a madeira de árvores mais jovens possui maior percentagem de lenho juvenil que a madeira de árvores mais velhas.

Quando ambos os lenhos são comparados, o lenho juvenil caracteriza-se pela massa específica mais baixa, maior ângulo das microfibrilas, traqueóides mais curtos, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior proporção de lenho de reação, menor percentagem de lenho tardio, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e menor de celulose, e pela interação de todos estes fatores, menor resistência (BENDTSEN, 1978, citado por MUÑIZ, 1993).

Grandes diferenças de resistência na flexão estática entre madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* foram encontradas por TOMASELLI (1980).

VITAL (1984), citando BROWN, PANSIN & FORSAITH (1952); HAYGREEN & BOWYER (1982) e PANSIN & ZEUD (1982), relata que "as variações de densidade entre as diversas espécies de madeira são devidas às diferenças das espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores e da quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume. Variações na densidade da madeira de mesma espécie, ocasionadas pela idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratamentos silviculturais etc., são decorrentes de alterações nos fatores citados inicialmente. Os efeitos em geral são interativos e difíceis de serem avaliados isoladamente".

TSOUMIS (1991) diz que a avaliação dos efeitos do ambiente (umidade, temperatura, nutrientes) sobre a densidade da madeira não é fácil, mas a literatura existente sobre o assunto é vasta.

O autor acima, resumindo as informações contidas nos trabalhos de ELLIOTT (1970); GOGGANS (1961); HILDEBRANDT (1960) e KOZLOWSKI (1971), diz, ainda, que a visão geral que prevalece é que a influência combinada dos fatores do ambiente, expressa pelo índice de sítio, não provoca uma clara variação da densidade. Alto e baixo índice de sítio nem sempre estiveram relacionados com a produção de madeira de maior e menor densidade, respectivamente, pois o oposto foi também observado.

TSOUMIS (1991), baseado em DE ZEEW (1965); POLLER (1967), SCHULTZE-DWITZ (1967); U.S. F P L (1965); WANGAARD (1974) e também em ZENKER (1967), diz que a densidade está relacionada diretamente a outras propriedades da madeira e, portanto, é importante como índice de qualidade. A densidade influencia a higroscopicidade, a contração e o inchamento, as propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, elétricas, e outras propriedades básicas, bem como as propriedades relacionadas ao processamento industrial da madeira.

O autor observa, contudo, que o valor da densidade como um índice de qualidade, refere-se à madeira livre de defeitos e que a densidade é somente um índice. Diferenças na composição celular ou no conteúdo de extrativos contribuem de tal modo que madeiras com a mesma densidade podem exibir diferenças em suas propriedades.

Os extrativos são compostos de variável composição química (gomas, gorduras, resinas, açúcares, óleos, taninos, alcalóides, etc.) que não são parte da substância madeira, mas são depositados dentro da parede celular e em suas cavidades; sua remoção não modifica a estrutura celular da madeira. A proporção de extrativos pode variar de menos que 1% até 20%, ou mais, com base no peso da madeira seca em estufa. A remoção dos extrativos resulta em redução da densidade (TSOUMIS, 1991).

TARAS & SAUCIER (1967), citados por MUÑIZ (1993), pesquisando 4 espécies de *Pinus* provenientes do sul do Estados Unidos, constataram que a massa específica básica da madeira, livre de extrativos, está diretamente correlacionada com a massa específica básica da madeira bruta.

GARCIA & QUIRINO (1993), citados por ROCHA (1994), estudando a madeira de *Tabebuia* sp, constataram que a remoção de extrativos, equivalente a 6,27% do peso das amostras, ocasionou um decréscimo de 2,3% no valor da densidade básica.

WHITE & SAUCIER (1966), citados por MUÑIZ (1993), determinando a massa específica da madeira de *Pinus elliottii*, com e sem extrativos, determinaram uma menor variação daquela propriedade no material extraído.

Por outro lado, VERMAAS (1975), citado por MUÑIZ (1993), trabalhando com *Pinus pinaster*, não encontrou correlação entre a quantidade de extrativos e a massa específica da madeira a 10% de umidade.

Os resultados obtidos por TAYLOR (1974), citado por MUÑIZ (1993), mostraram que a retirada dos extrativos provocou um aumento no volume de blocos de madeira, suficiente para causar um decréscimo de 0,02 g/cm³ na massa

específica aparente. O autor considera que o aumento no volume deve-se à expansão da madeira causada pelas moléculas de água que ocupam locais de adsorção/dessorção de onde foram retirados extrativos.

DEMARRE & ERICKSON (1976), citados por MUÑIZ, (1993), pesquisaram a correlação entre extrativos e retração volumétrica na madeira de *Sequoia sempervirens* e concluíram existir uma interação com a temperatura utilizada durante a secagem. À temperatura ambiente e a 43,3°C, o teor de extrativos solúveis em água está inversamente relacionado com a retração volumétrica, ao passo que para temperaturas entre 54,4 e 87,8°C as duas variáveis estão diretamente correlacionadas.

Como regra geral, uma grande quantidade de extrativos presentes na madeira contribuiria para redução da retração e do inchamento. A redução seria proporcional ao espaço ocupado pelos extrativos na parede das células. Por outro lado, a remoção de tais extrativos aumentaria a retração e o inchamento (BROWN, PANSIN & FORSAITH, 1952 e NEARN, 1955 citados por TSOUMIS, 1991).

Exceção à regra geral pode ser observada nos resultados obtidos por NEARN (1955) e reproduzidos por TSOUMIS (1991), para madeiras de *Pinus* spp que, após extração em água fria, apresentaram menor retração volumétrica em relação à madeira não extraída.

De acordo com EL-OLSTA, BADRAN & AJOUNG (1981), citados por SCHNIEWIND & BERNDT (1991), pode-se esperar que os extrativos localizados dentro da parede celular tenham algum efeito sobre a resistência e a rigidez da

madeira. Os poucos estudos relacionados com o efeito dos extrativos sobre as propriedades mecânicas da madeira são baseados na quantidade total de extrativos removida, sem considerar a localização dos mesmos, se na cavidade ou na parede celular.

CHONG (1969), citado por MUÑIZ (1993), trabalhando com dez espécies de *Pinus* da região sul dos Estados Unidos, sugeriu que os extrativos solúveis em água encontram-se, na sua totalidade, dentro da parede celular. Os extrativos insolúveis em água, por outro lado, estão em boa parte confinados nos capilares grossos, bem como nos espaços intercelulares e canais resiníferos.

Os extrativos solúveis em água, não sendo parte integrante da estrutura da madeira, são livres para migrar com algum movimento da água líquida dentro da madeira. Por consequência, os extrativos migram em grande escala para a superfície das tábuas durante a secagem, levando algumas espécies à descoloração superficial (ANDERSON et alii, 1960, citados por SCHNIEWIND & BERNDT, 1991).

Segundo citação do último autor, KUO & ARGANBRIGHT (1980) sugeriram que os extrativos, originalmente, difundem-se da cavidade celular para a parede celular, concentrando-se na camada S_2 , e que uma tendência geral encontrada foi da concentração decrescer da cavidade celular em direção à lamela média.

HART (1984), citado por SCHNIEWIND & BERNDT (1991), observou um inchamento da madeira durante os estágios iniciais da secagem de tábuas, o qual atribuiu à entrada de extrativos na parede celular, provenientes da cavidade celular. Portanto, os extrativos devem ser reconhecidos, potencialmente, como

constituintes móveis, sujeitos à migração durante a secagem, dependendo da sua solubilidade.

Os extrativos residentes na parede celular seriam idealizados como ocupantes de sítios de sorção (ROSEN, 1978, citado por SCHNIEWIND & BERNDT, 1991).

Os extrativos influenciariam as propriedades mecânicas da madeira, atuando de três possíveis formas: como plasticizadores, como agentes inertes causadores do efeito *bulking*¹, ou viriam a ser parte da matriz lignina-hemicelulose.

Como parte da matriz, os extrativos deveriam aumentar a resistência à compressão paralela à grã, e alguns autores observaram evidências deste efeito em algumas espécies (EL-OLSTA, BADRAN & AJOUNG, 1981; LUXFORD, 1931, citados por SCHNIEWIND & BERNDT, 1991).

Como plasticizadores ou agentes que promovem o efeito *bulking*, os extrativos poderiam aumentar ou diminuir a resistência da madeira, dependendo da sua relativa eficácia em adsorver a água que substituem (LUXFORD, 1931 citado por SCHNIEWIND & BERNDT, 1991).

LUXFORD (1931) citado por SCHNIEWIND & BERNDT (1991), trabalhando com *Sequoia sempervirens*, observou que os extrativos aumentaram a resistência à compressão paralela mais significativamente, o módulo de ruptura em menor extensão e ainda a resistência ao choque, em menor grau.

¹ Este efeito está relacionado com o termo "estabilização dimensional da madeira" e se refere a tratamentos químicos efetuados com a finalidade de reduzir a tendência da madeira a retração ou ao inchamento, quando ocorrem mudanças no seu teor de umidade (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

Visando investigar os efeitos dos extrativos na compressão paralela às fibras, GARCIA & QUIRINO (1993), citados por ROCHA (1994), realizaram experimentação com a madeira de *Tabebuia* sp e constataram que a remoção de apenas 1,9% de extrativos ocasionou um decréscimo de 17,30% naquela propriedade.

AJOUNG & BREESE (1997), examinaram o comportamento do *creep*¹ na compressão paralela à grã em blocos de *Afzelia africana* sem remoção de extrativos, e após remoção dos mesmos, para averiguar a influência dos extrativos presentes na cavidade celular e dos extrativos residentes na parede celular. Os autores concluíram que as frações de extrativos localizadas na cavidade celular, não tiveram efeito significativo no *creep* de curta duração, enquanto que a remoção dos extrativos residentes na parede celular, permitiram um significativo e acelerado desenvolvimento do *creep*. Os autores propõem que os extrativos agiriam como um reforço nas paredes das células frente ao *creep* na compressão.

Outro estudo realizado por ARGANBRIGHT (1971), também citado por SCHNIEWIND & BERNDT (1991), não detectou efeito significativo do conteúdo de extrativos no módulo de ruptura, mas um pequeno efeito positivo sobre o módulo de elasticidade foi observado.

Segundo SCHNIEWIND & BERNDT (1991), citando KELLOGG & IFJU (1962), deveria ser esperado que a resistência à tração seria relativamente insensitiva sob qualquer das formas de influência dos extrativos e, de fato, um

¹ Aumento da deformação da madeira sob a ação de uma tensão constante em função do tempo - fenômeno conhecido como *creep*, deformação lenta ou fluência.

estudo com 20 espécies não mostrou qualquer efeito dos extrativos na resistência à tração paralela à grã.

De acordo com o exposto acima, os extrativos presentes na madeira poderiam ser agentes responsáveis pelo aumento de algumas propriedades da mesma. Assim sendo, a remoção dos extrativos traria um efeito contrário, ou seja, de redução da resistência da madeira.

Para SCHNIEWIND & BERNDT (1991) os efeitos dos extrativos sobre as propriedades da madeira não se encontram perfeitamente esclarecidos, mas os autores afirmam que as limitadas evidências disponíveis tendem a favorecer a visão que os extrativos, localizados dentro da parede celular, podem ser considerados parte da matriz.

Outros fatores que influenciam a resistência da madeira e podem ser mencionados são os seus defeitos como nós, desvio ou inclinação da grã, rachaduras e lenho de reação.

De maneira geral, é consensual a opinião de vários autores ao considerar serem estes fatores redutores da resistência da madeira. Através da utilização de corpos-de-prova livres de defeitos, prevista nas normas que regulamentam e padronizam os ensaios para obtenção dos valores de resistência e elasticidade da madeira, procura-se minimizar ou mesmo eliminar a influência negativa dos fatores supracitados.

Especial atenção deve ser dada à orientação da grã. Segundo MUÑIZ (1993), excluindo-se os nós, a massa específica e a orientação da grã são as responsáveis pela maior parte da variação da resistência da madeira.

O termo grã refere-se ao arranjo e direção dos elementos constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore ou de uma peça de madeira. A inclinação da grã é a medida do desvio destes elementos em relação ao eixo longitudinal da peça de madeira.

A grã pode ser direita ou irregular. A grã irregular se apresenta sob a forma de algumas variantes. Segundo BURGER & RICHTER (1978), "a grã direita é aquela na qual os elementos constituintes do lenho se dispõem mais ou menos paralelos ao eixo vertical da árvore ou peça de madeira".

De acordo com MUÑIZ (1993), citando BAMBER & BURLEY (1983), a grã espiralada é uma ocorrência comum em coníferas e usualmente segue uma espiral à esquerda, isto é, inclinada à esquerda em relação ao eixo axial da árvore. No gênero *Pinus* isto é comum, aparecendo em muitas espécies, porém em algumas espécies, como *Pinus taeda*, tem pouca importância.

Segundo a ficha PIN50004 do IPT/DIMAD, o *Pinus taeda* possui grã direita. Devido a estes fatos não se espera desta espécie fortes desvios da grã ao longo do seu lenho. Porém, segundo KNIGGE & SCHULZ (1966); KUCERA (1973) e WAGENFÜHR (1974), citados por TSOUNIS (1991), a presença de nós na madeira provoca o desalinhamento localizado da grã e rachaduras à sua volta.

Sabe-se que no preparo de corpos-de-prova livres de defeito, devido ao desalinhamento da grã e das rachaduras na região dos nós, não somente os nós devem ser descartados como também uma porção de madeira maior à sua volta, justamente para prevenir-se contra o efeito indesejado destes defeitos na resistência da madeira quando ensaiada em laboratório.

Conforme MUÑIZ (1993), considera-se normalmente que o efeito da inclinação da grã sobre as propriedades de resistência é maior em peças estruturais do que em pequenos corpos-de-prova.

A influência da inclinação da grã é basicamente devida a diferenças entre a resistência da madeira nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras. Como a resistência no sentido paralelo às fibras é muito maior, é óbvio que a mesma é reduzida se a aplicação de carga for feita em ângulo; maior ângulo resulta em maior redução. A resistência à tração é mais atingida que a resistência à compressão, enquanto a resistência à flexão estática é intermediária (BAUMANN, 1922; KOLLMANN & COTÉ, 1968; SILVESTER, 1967 e WANGAARD, 1950, citados por TSOUMIS, 1991).

O módulo de elasticidade é também reduzido por desvios da grã, mas o efeito máximo é sobre a resistência ao impacto (KOLLMANN & COTÉ, 1968, citados por TSOUMIS, 1991).

O efeito do desvio da grã sobre o cisalhamento é mínimo e em certos casos a resistência pode ser até aumentada (WANGAARD, 1950, citado por TSOUMIS 1991).

Com relação à presença do lenho de reação na madeira, em alguns casos ocorre uma influência negativa, em outros o contrário, enquanto que em certas situações diferenças importantes não são verificadas (COCKRELL & KNUDSON 1973; KUCERA, 1973; PEREM, 1960 e WANGAARD, 1950, citados por TSOUMIS, 1991).

O lenho de reação das coníferas é conhecido como lenho de compressão e o das folhosas como lenho de tração.

Por via de regra, o lenho de compressão é formado no lado inferior da inclinação do tronco da árvore nas coníferas e o lenho de tração no lado superior, no caso das folhosas. Os termos lenho de tração e lenho de compressão levam, portanto, a uma direta relação entre estes tecidos anormais e as respectivas tensões mecânicas desenvolvidas em cada lado, como resultado da inclinação do tronco.

O termo lenho de reação é utilizado para denotar que o mesmo é formado na madeira em resposta ao estímulo que causou a inclinação do tronco da árvore (TSOUMIS, 1991).

Segundo o último autor, comparando com a madeira normal, o lenho de compressão possui mais lignina e menos celulose, maior densidade (cerca de 40% a mais), maior retração longitudinal e resistência irregular.

O mesmo autor, citando WAANGARD (1950), diz que o lenho de compressão apresenta menor módulo de elasticidade e menor resistência na flexão estática e na flexão dinâmica. Diz, ainda, citando ILLSTON, DINWOODIE & SMITH (1979), que para o lenho de tração em *Fagus sylvatica* foi encontrada uma resistência muito baixa na compressão paralela, mas alta resistência na tração paralela e na flexão dinâmica.

As relações entre resistência, densidade e umidade existentes na madeira normal não se aplicam para o lenho de reação da madeira de mesma espécie.

Em geral estas anormalidades devem ser consideradas como tendo um efeito negativo na resistência, porque podem causar rachaduras ou empenamentos com mudanças no teor de umidade devidos à maior retração longitudinal; portanto, o uso de madeiras com este tipo de defeito deve ser evitado

em estruturas de grande porte, especialmente quando sua ocorrência é pronunciada. Quebras súbitas que algumas vezes ocorrem na madeira (degrau de escada, perna de cadeira, etc.), são devidas à presença de lenho de compressão ou tração, mas também devidas a desvios da grã, ou à combinação destes defeitos TSOUMIS (1991).

2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura permitiu apurar que são muitos os trabalhos que trazem informações a respeito da ação do calor sobre as propriedades da madeira, todavia, se reportam a processos e condições específicas de uso, que não correspondem inteiramente ao que ocorre nos incêndios florestais. Além disto, ainda resta a dificuldade de interpretar e comparar os resultados das experiências relatadas naqueles trabalhos, para fins de tirar-se deles uma única conclusão, devido a falta de homogeneidade dos procedimentos adotados, em função dos mais variados objetivos particulares observados em cada caso.

Como síntese foi possível constatar que há carência de trabalhos relativos a qualidade da madeira proveniente de árvores atingidas por incêndios florestais e, este fato, traz a convicção de que pesquisas na referida área de conhecimento podem trazer contribuições originais e relevantes. Isto torna-se ainda mais importante, no sentido de se verificar cientificamente a validade de paradigmas e preconceitos observados na prática sobre a qualidade da madeira de proveniência acima referida.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A espécie de madeira utilizada no presente trabalho foi a de *Pinus taeda* L. introduzida no Brasil e plantada nas regiões sudeste e, principalmente, sul do país.

Esta espécie é encontrada em quantidades apreciáveis em extensos plantios, crescendo destacadamente com ritmo e vigor, e vem sendo largamente comercializada, não somente como essência papeteira de fibra longa e matéria-prima para produção de laminados, compensados, chapas de fibras e de partículas, como também para produção de madeira serrada destinada às mais diversas aplicações, em substituição à madeira da *Araucaria angustifolia*.

A utilização da referida espécie no presente trabalho deu-se em função da disponibilidade da sua madeira em virtude de um incêndio florestal ocorrido nos plantios da MANASA S/A - PR, o que permitiu o estudo da madeira gerada a partir de árvores atingidas por incêndio florestal.

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DO MATERIAL

O material utilizado na pesquisa foi procedente dos plantios da Fazenda da Costa, localizada no Distrito de Palmeirinha, Município de Guarapuava, Estado do Paraná, de propriedade da MANASA - Madeireira Nacional S/A, situada a 25°15' de latitude sul e 51°30' de longitude oeste de *Greenwich*. A altitude varia entre 1030 a 1190m, apresentando declive suave.

A cobertura vegetal original local era o Campo Limpo (estepe de gramíneas baixas) - mais recentemente designada Savana Gramíneo-Lenhosa (IBGE, 1992), com capões de mato de araucária e matas ciliares ou galerias ao longo dos rios e arroios (MAACK, 1968).

A região, situada no terceiro planalto paranaense, pertence à Zona de clima quente-temperado subtropical, fresco até frio no inverno. O clima local é classificado por *Koppen* como sendo do tipo *Cfb*, caracterizado como subtropical úmido, com verões frescos, sem estação seca e geadas freqüentes. A precipitação pluviométrica média anual situa-se entre 1600 a 1800mm. A temperatura média anual situa-se entre 16 e 17°C. A umidade relativa média anual é de 77% (MAACK, 1968).

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO INCÊNDIO

O incêndio florestal ocorreu no dia 08 de setembro de 1995, tendo sido detectado por volta das 11:00 horas, quando foi dado início aos preparativos para o seu controle com uma equipe de 13 homens utilizando-se de abafadores, regadores, facão, foice e enxada para confecção de aceiros. O fogo foi dominado e extinto por volta das 16:00 horas do mesmo dia.

Foram atingidos pelo incêndio aproximadamente 2 dos 33 ha do Talhão 10 e, 8 dos 30 ha do Talhão 13, ambos adjacentes e pertencentes ao Projeto MANASA IV, plantados com *Pinus taeda* que no momento do sinistro

encontravam-se com 23 anos de idade. Portanto, somadas as áreas, o fogo atingiu cerca de 10 ha no total.

Segundo os registros da MANASA o espaçamento inicial dos plantios foi de 2,00 x 2,50 m. Os povoamentos haviam recebido, até o momento da ocorrência do incêndio, três manutenções pós-plantio e três desbastes encontrando-se com 150 árvores remanescentes por hectare.

A causa do incêndio, identificada pelos técnicos da empresa, foi de origem criminosa ou, tecnicamente, incêndio causado por incendiário.

SOARES (1985) classifica os incêndios em três tipos: subterrâneo, superficial e de copa. Consonante tal classificação, o incêndio foi predominantemente superficial, mas atingiu também as copas de algumas árvores.

3.2.1. Variáveis Climáticas no Momento do Incêndio

A determinação das variáveis climáticas foi importante não somente para melhor detalhar a ocorrência do incêndio, mas também foi fundamental para realizar o levantamento dos parâmetros necessários à avaliação dos danos causados pelo incêndio às árvores da floresta.

De acordo com os dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), coletados pela estação meteorológica do Colégio Agrícola, ambos localizados no município de Guarapuava (25°71' Lat. S; 51°30'

Long. W e Alt. 1058m), no dia do sinistro o céu estava claro, a temperatura foi de 18,2 e 27,4°C (observações feitas às 9:00 e 15:00 horas, respectivamente); a temperatura máxima registrada foi de 27,6°C; a umidade relativa estimada variou aproximadamente entre 47 e 25% (observações feitas às 9:00 e 15:00 horas, respectivamente) e a velocidade do vento oscilou entre 1 e 3 m/s (observações feitas às 9:00 e 15:00 horas, respectivamente) na direção preferencial nordeste, tendo sido registrado um pico máximo de 9,4 m/s na direção norte.

A última precipitação significativa, de 22,9 mm, havia sido registrada no dia 04 de agosto de 1995; portanto, 34 dias antes da ocorrência do sinistro.

3.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO FOGO

A determinação dos parâmetros do comportamento do fogo tem importância para avaliar os danos causados por incêndios florestais sobre as árvores.

Os parâmetros do comportamento do fogo determinados foram a altura da chama ou de queima, percentagem de queima em relação à altura da árvore, intensidade do fogo, altura de crestamento das copas e percentagem de crestamento em relação à altura da árvore.

3.3.1. Altura das Chamas ou de Queima e Altura das Árvores

A altura das chamas ficou marcada nas árvores pela carbonização das suas cascas. Esta altura, que variou com a intensidade de queima, foi medida no campo após o corte das árvores, como também foram medidas as alturas das árvores, da mesma maneira.

Posteriormente trabalhou-se com a média das alturas das chamas e das alturas das árvores, por nível de queima.

Através de uma regra de três simples, determinou-se a percentagem de queima em relação à altura das árvores.

3.3.2. Intensidade de Fogo

A intensidade do fogo foi estimada em função da altura média das chamas de cada nível de queima, através da equação de *Byram*, modificada por ROTHERMEL & DEEMING (1980) e apresentada por SOARES & TOZZINI (1987) como:

$$I = 63,05 \times hc^{2,17}$$

onde:

I = Intensidade de fogo (kcal/m.s);

hc = altura da chama (m).

3.3.3. Altura de Crestamento Letal

A estimativa da altura de crestamento letal da copa das árvores foi feita através da equação desenvolvida por VAN WAGNER (1973) e apresentada por SOARES & TOZZINI (1987) como:

$$h_s = \frac{3,94 \times I^{\frac{7}{6}}}{\left(0,107 \times I + V^3\right)^{0,5} \times (60 - T)}$$

onde:

h_s = Altura de crestamento letal (m);

V = velocidade do vento (m/s);

I = intensidade do fogo (kcal/m.s);

T = temperatura do ar (°C).

A velocidade do vento e a temperatura do ar foram obtidas conforme citado em 3.2.1. Para o cálculo da altura de crestamento letal foram utilizados os valores médios das observações da velocidade do vento e da temperatura feitas às 9:00 e 15:00 hs do dia do incêndio ocorrido.

Através de uma regra de três simples, determinou-se a percentagem de crestamento em relação à altura das árvores, para cada nível de queima.

3.4. AMOSTRAGEM DAS ÁRVORES NOS TALHÕES E IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE QUEIMA

A amostragem das árvores deu-se nos Talhões 10 e 13, anteriormente descritos, e foi efetuada um mês após a ocorrência do sinistro. Inicialmente, procedeu-se uma inspeção de toda a área atingida pelo incêndio, constatando-se a existência de diferentes níveis de queima dispersos, aparentemente de maneira aleatória, nos dois talhões. Verificou-se também que até aquele momento as árvores atingidas pelo fogo não se encontravam atacadas por fungos ou insetos.

Posteriormente foram identificados quatro níveis de queima, propostos por SOARES & TOZZINI (1987), verificados por intermédio da análise visual da área queimada, assim classificados e descritos:

- Nível I - Incêndio superficial sem crestamento letal das copas;
- Nível II - Incêndio superficial com crestamento letal parcial das copas;
- Nível III - Consumo parcial das copas pela chama;
- Nível IV - Consumo total das copas pela chama.

3.4.1. Seleção, Marcação e Codificação das Árvores para o Posterior Abate

Após identificadas as árvores pertencentes a cada um dos quatro níveis de queima descritos, procedeu-se à seleção efetivada nos Talhões 10 e 13 e à

marcação para o posterior abate de 10 árvores para cada nível de queima, sendo que para o nível IV só foi possível a seleção de 5 árvores.

Foram também selecionadas, aleatoriamente, 10 árvores do Talhão 13, denominadas testemunhas por não terem sido atingidas pelo incêndio, perfazendo um total de 45 árvores.

Das árvores testemunhas selecionadas, que não tiveram suas copas atingidas pelo fogo ou pelo calor, coletaram-se amostras botânicas, como pode ser visto nas Figuras 1 e 2, as quais foram encaminhadas ao Herbário do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná com a finalidade de proceder-se à identificação botânica da espécie. As amostras encontram-se no mesmo herbário registradas como *Pinus taeda* L. sob o nº 5.841.

Na seleção das árvores foi levado em consideração o aspecto visual do fuste, dando-se preferência àqueles com tronco cilíndrico, reto, sem bifurcações ou defeitos que pudessem comprometer a obtenção posterior dos corpos-de-prova e os resultados dos ensaios previstos.

No momento da seleção e marcação das árvores para o posterior abate foram tomadas as suas medidas de circunferência à altura do peito (CAP), com o auxílio de uma fita métrica graduada em centímetros. As medidas da CAP foram posteriormente transformadas para DAP. Os diâmetros médios das árvores selecionadas foram de 44, 43, 39, 43 e 46 cm, para as testemunhas e níveis de queima I, II, III e IV, respectivamente.



FIGURAS 1 e 2 - COLETA DE AMOSTRAS BOTÂNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE



A marcação da codificação adotada para identificação das árvores atingidas pelo incêndio foi uma combinação de algarismos romanos e arábicos. O algarismo romano para identificar o nível de queima e o algarismo arábico para identificar a árvore. Por exemplo: a codificação IV 3 indicando a árvore nº 3 do nível de queima IV.

A marcação da codificação adotada para identificação das árvores testemunhas (não atingidas pelo incêndio) foi a alfanumérica. Por exemplo: a codificação T 7 indicando a árvore nº 7 das testemunhas.

3.4.2. Corte das Árvores

Após a seleção, a marcação e a medição da CAP de todas as árvores procedeu-se à derrubada das mesmas, iniciando-se por aquelas enquadradas no nível IV, e posteriormente pelos níveis III, II, I e, por fim, testemunhas.

Adotou-se tal metodologia devido ao fato de que, nos níveis de queima IV e III, as intensidades alcançadas pelo fogo normalmente são suficientes para causar a morte das árvores, tornando-as susceptíveis ao ataque de fungos e insetos, bem como de outros agentes biodegradadores da madeira. Tal atitude foi tomada por pura precaução pois, como já dito anteriormente, até o momento do abate das árvores tais ataques não foram verificados.

O abate das árvores se deu através do uso da motosserra, operada por um funcionário cedido pela MANASA. A altura de corte adotada, rente ao solo, foi a mesma praticada correntemente pela empresa.

3.4.3. Desgalhamento, Medições, Codificação e Traçamento Inicial da Árvore

Após derrubada a árvore procedeu-se à marcação da codificação em seu topo, ao desgalhamento, à medição da altura da chama alcançada a partir da base, marcada nas árvores pela carbonização de suas cascas, à medição da altura de inserção do primeiro galho e altura total da mesma, utilizando-se o método de medição contínua desde a base até o topo da árvore.

Foi também incluída na codificação das árvores uma sinalização com sinais (+) e (-) representando, respectivamente, os lados da tora que evidenciou-se estarem mais ou menos queimados pela chama; ou o lado em que o fogo aproximou-se da árvore primeiramente (+).

Nestas operações, contou-se com o auxílio, além do operador de motosserra e do anotador, de dois outros funcionários cedidos pela empresa, que manusearam a trena de 50m utilizada nas referidas medições.

As alturas médias das árvores selecionadas foram de 24, 25, 22, 21 e 23 m, para as testemunhas e níveis de queima I, II, III e IV, respectivamente. As alturas médias das copas das árvores foram de 12, 13, 13, 12 e 15 m, para as testemunhas e níveis de queima I, II, III e IV, respectivamente.

Após efetuados o abate e as medições de todas as árvores fez-se o traçamento inicial das mesmas, ainda na floresta, seccionando-as no comprimento de 4,00 m - tomado a partir da base - o que gerou uma única tora proveniente de cada árvore amostrada, totalizando assim 45 toras.

3.4.4. Amostragem Inicial das Toras e Codificação das Amostras

As toras de 4,00 m de comprimento, foram transportadas por um trator adaptado com garra frontal hidráulica, para a beira da estrada que margeava os talhões, onde foram depositadas lado a lado conforme mostram seqüencialmente as Figuras 3, 4 e 5, a seguir.

Posteriormente foi completada a operação de traçamento das toras, da seguinte maneira: a partir da base foram seccionados e retirados continuamente um disco de 5,00 cm de espessura (disco A), uma tora de 1,80 m (seção A), um segundo disco de 5,0 cm (disco B), uma segunda tora de 1,80 m (seção B) e, por fim, um terceiro disco de 5,0 cm (disco C), conforme mostram as Figuras 6, 7 e 8, a seguir.

As codificações de todas as seções foram marcadas em seus topos com o auxílio de um lápis estaca.

A codificação adotada foi a mesma anteriormente descrita para as árvores, adicionando-se as letras A, B e C para cada uma das três alturas de onde foram retirados os discos, a partir da base. Por exemplo, a codificação IV 3 A, indicando o primeiro disco da árvore nº 3, do nível de queima IV, retirado mais próximo da base; a inserção da letra B em lugar de A, indicaria o segundo disco, e assim por diante, até formar o conjunto de três discos amostrados por árvore.

Para as toras de 1,80m a codificação foi a mesma, porém adicionando-se somente as letras A e B; por exemplo a codificação T 7 B, indicando a segunda seção da tora da árvore nº 7 das testemunhas.



FIGURA 3 - TRANSPORTE DAS TORAS DE 4,00 m AMOSTRADAS DAS ÁRVORES, PARA A BEIRA DA ESTRADA QUE MARGEAVA OS TALHÕES

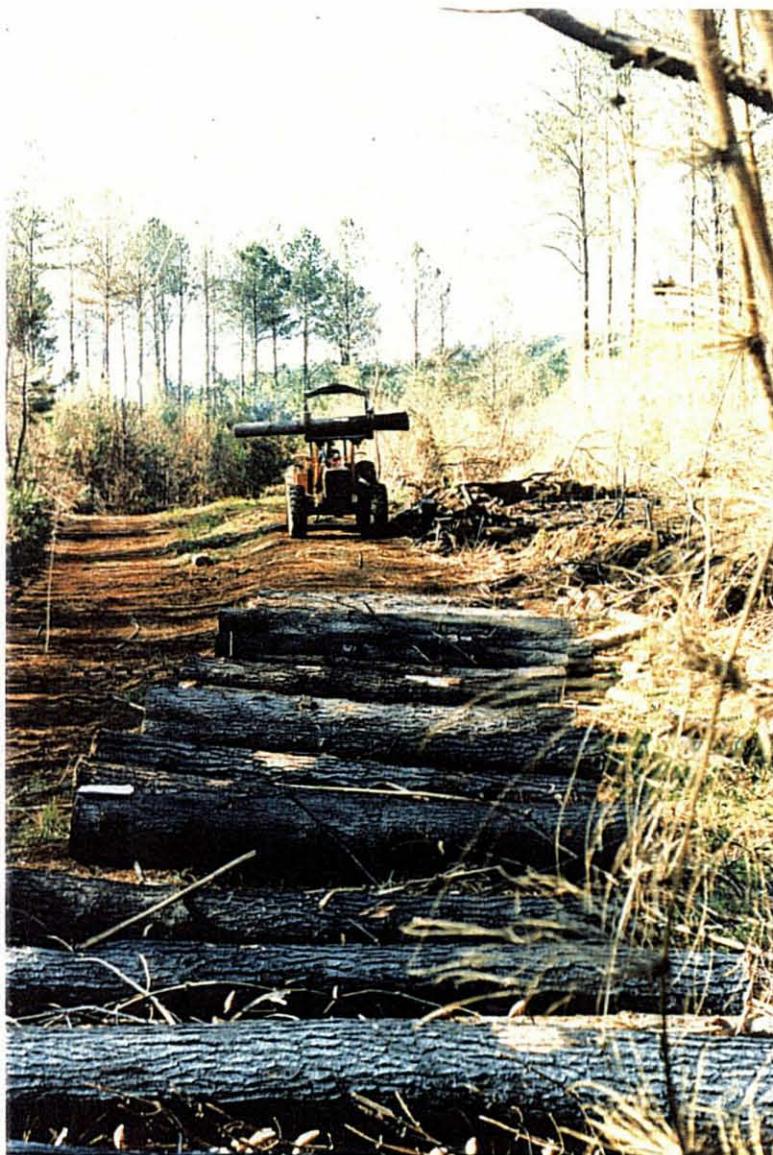
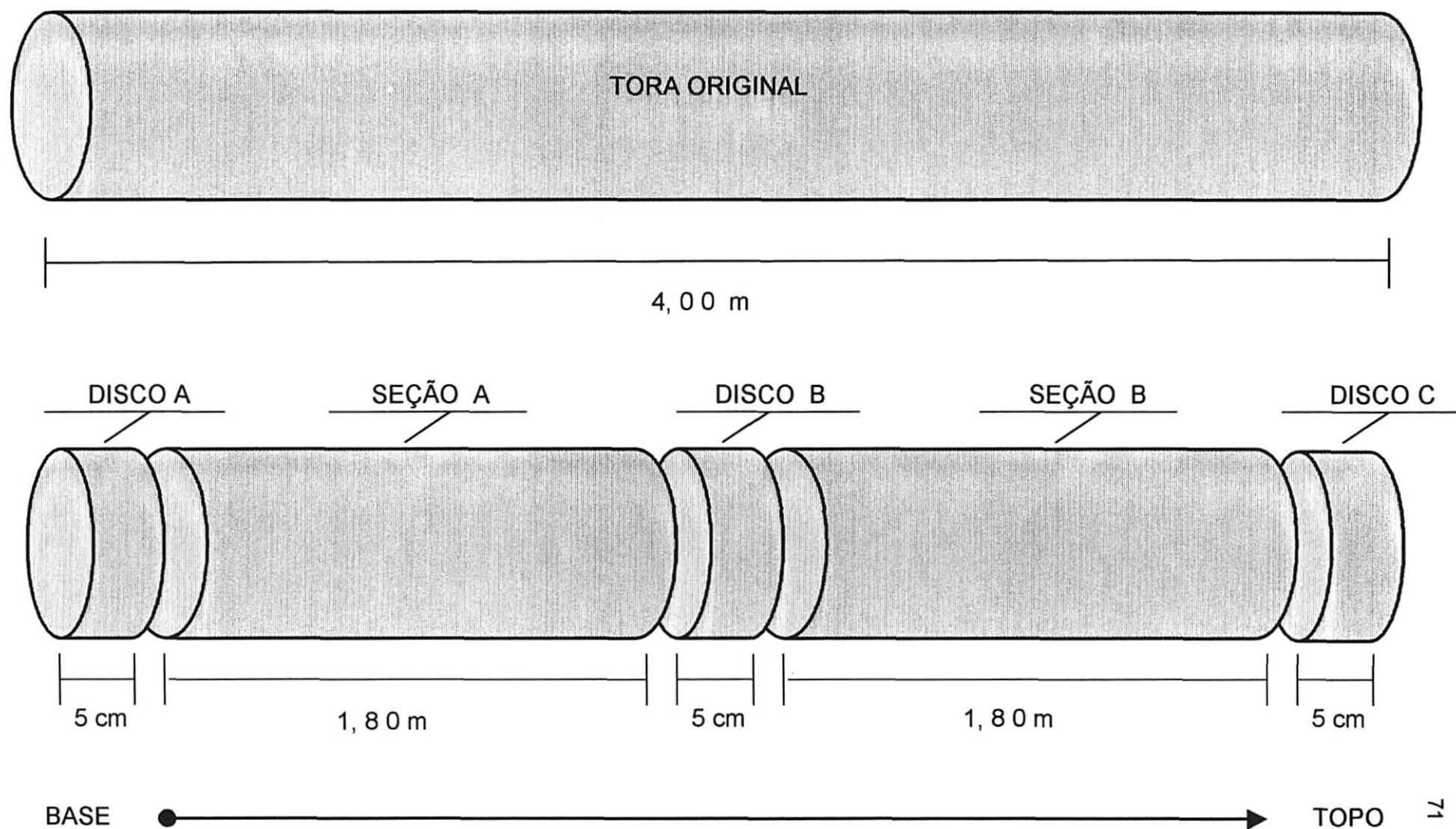


FIGURA 4 - SEQUÊNCIA DO TRANSPORTE DAS TORAS



FIGURA 5 - SEQUÊNCIA DO TRANSPORTE E DEPÓSITO DAS TORAS NA BEIRA DA ESTRADA QUE MARGEAVA OS TALHÕES

FIGURA 6 - ESQUEMATIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM INICIAL DA TORA EM DISCOS E SEÇÕES





FIGURAS 7 e 8 - AMOSTRAGEM
DA TORA



Ao final das operações, as 90 toras resultantes das 45 árvores amostradas foram carregadas num caminhão de carga por intermédio de um trator com guincho. Os 135 discos resultantes da amostragem das 45 árvores foram ensacados e carregados da mesma forma. Subseqüentemente, todo o material foi conduzido para uma serraria localizada no Distrito de Palmeirinha.

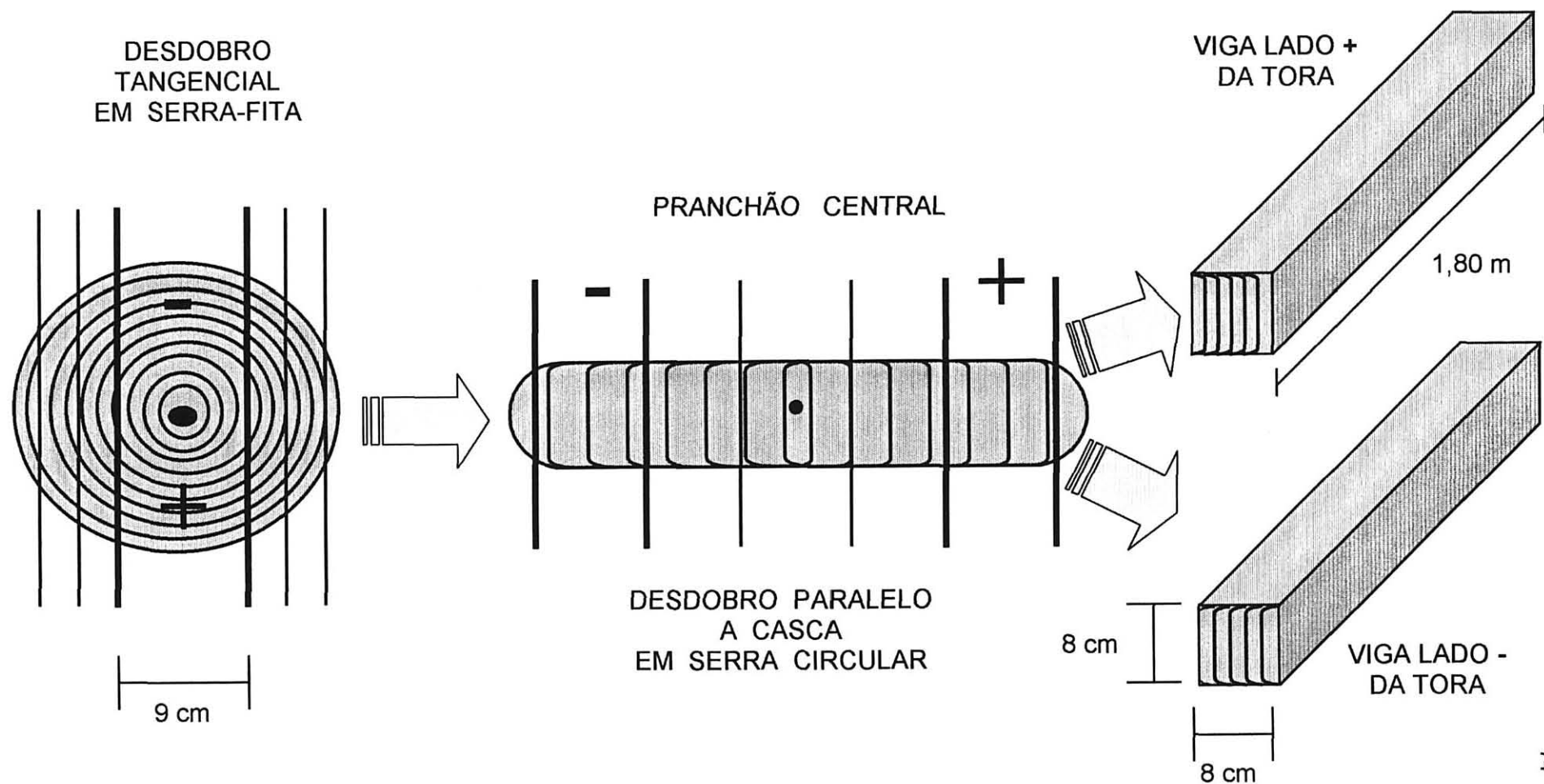
3.5. DESDOBRO EM SERRARIA PARA OBTENÇÃO DE PRANCHÕES

Após o descarregamento no pátio da serraria, os discos foram banhados em solução preservativa, para prevenir o desenvolvimento de fungos, e as toras foram destinadas ao desdobro.

As toras foram desdobradas segundo o método de desdobro tangencial, em carro porta-toras e serra-fita vertical. Retirou-se de cada tora um pranchão central com cerca de 9cm de espessura, incluindo-se a medula e a casca, conforme mostra a Figura 9, sendo devidamente codificados em suas faces. Os pranchões foram obtidos segundo as recomendações da norma COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas - 458 (1972).

Os 90 pranchões resultantes do desdobro das toras foram banhados em solução preservativa anti-fungo, fornecida pela serraria, conforme recomenda a norma COPANT 459 (1972). Posteriormente, todos os pranchões e os discos foram carregados para um caminhão de carga e transportados para o pátio do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (CPGEF) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), na cidade de Curitiba.

FIGURA 9 - ESQUEMATIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE DESDOBRO DA TORA PARA OBTENÇÃO DO PRANCHÃO CENTRAL E
RETIRADA DE VIGAS



3.6. PROCESSAMENTO DOS PRANCHÕES

Já descarregados no pátio do CPGEF, os pranchões ainda com casca aderida, destinados à retirada de vigas e posteriormente os corpos-de-prova para ensaios físico-mecânicos, foram empilhados e entabicados em local ventilado e coberto.

Os tabiques ou separadores utilizados tinham seção transversal de 3,0 x 3,0 cm e foram distanciados em 40 cm entre si, segundo uma adaptação das recomendações de HILDEBRAND (1970), citado por MARTINS (1987).

Os pranchões, após decorridas quatro semanas, foram desdobrados em vigas, cortadas paralelamente à casca, por serra circular na marcenaria do CPGEF. Após a remoção das costaneiras foram retiradas vigas externas com seções transversais de 8,0 x 8,0 cm, uma de cada lado dos pranchões, conforme mostra a Figura 9, provenientes do lenho adulto da árvore original, totalizando 180 vigas.

Na pesquisa foram utilizadas somente vigas externas, provenientes de lenho adulto.

A codificação adotada para a marcação das vigas foi a mesma descrita anteriormente, acrescentando-se o número 1 para as vigas retiradas do lado (-), que se refere ao lado da tora original que evidenciou-se estar menos queimado pela chama, e 2 para aquelas retiradas do lado (+) do pranchão, que se refere ao lado da tora original em que o fogo aproximou-se primeiramente; por exemplo a codificação IV 3 A 1, indicava a primeira viga (lenho externo) retirada do lado (-) do pranchão, da seção A da tora da árvore nº 3 do nível de queima IV.

As vigas retiradas dos pranchões provenientes das árvores testemunhas tiveram os lados (+) e (-) aleatorizados.

Após retiradas dos pranchões, as vigas foram banhadas em solução preservativa anti-fungo seguindo as recomendações da norma COPANT 459 (1972), entabicadas e empilhadas no sentido perpendicular à direção dos ventos predominantes em local coberto, com a finalidade de secarem naturalmente a teores de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), em condições amenas, evitando defeitos acentuados nas peças que prejudicassem a retirada de corpos-de-prova.

Também foram inseridas e dispersas na pilha em secagem, 05 amostras-teste preparadas adequadamente, as quais tiveram seu peso e teor de umidade inicial estimados, com a finalidade de se acompanhar a perda de umidade média das vigas através de pesagens sucessivas, efetuadas durante o processo.

Transcorridos cerca de sessenta dias as vigas, já com teor de umidade abaixo do PSF, foram transferidas, entabicadas, empilhadas e acondicionadas em câmara de climatização, juntamente com as amostras-teste.

O período de climatização das vigas foi encerrado após cinco meses quando as amostras-teste e mais cinco vigas escolhidas aleatoriamente não apresentaram mais variação em seus pesos, medidos sucessivamente em intervalos semanais, durante o último mês.

3.7. PROCESSAMENTO DAS VIGAS E RETIRADA DE CORPOS-DE-PROVA PARA OS ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

As vigas, com seção transversal de 8,0 x 8,0 cm e comprimento aproximado de 1,80 m, após decorrido o período de climatização, foram conduzidas para a marcenaria do CPGEF para retirada de corpos-de-prova, numa serra circular. Foram somente confeccionados corpos-de-prova a partir das vigas provenientes de lenho adulto (externo), por se tratar da porção lenhosa que esteve mais exposta à ação do calor proporcionado pelo fogo, bem como para se obter material com a formação mais homogênea possível.

A retirada dos corpos-de-prova isentos de defeitos, a partir das vigas, deu-se de maneira aleatória, principalmente em função da necessidade de eliminação dos nós e de outros defeitos.

De cada uma das 180 vigas foi extraído 01 corpo-de-prova por tipo de ensaio físico-mecânico realizado: massa específica e retratibilidade (no mesmo corpo-de-prova); flexão estática; compressão paralela; compressão perpendicular; cisalhamento paralelo; fendilhamento e flexão dinâmica.

Portanto, foram 07 corpos-de-prova por viga (+ e -), 14 por tora (A e B) e, 28 por árvore, ou seja, 04 corpos-de-prova para cada tipo de ensaio por árvore.

Considerando-se que foram utilizadas 45 árvores, foram obtidos 1.260 corpos-de-prova no total, destinados aos ensaios físicos e mecânicos.

Após a retirada de todos os corpos-de-prova previstos, os mesmos foram acondicionados em câmara climática e assim permaneceram até o momento dos ensaios.

3.7.1. Ensaios Físicos

Os ensaios físicos efetuados, de massa específica (básica, seca e anidra) e retratibilidade (tangencial máxima, radial máxima, volumétrica máxima e anisotropia de contração), foram realizados com corpos-de-prova de dimensões 2,5 x 2,5 x 10 cm, retirados aleatoriamente das vigas climatizadas, utilizando-se o mesmo corpo-de-prova para ambos os ensaios.

Em condições normais, os corpos-de-prova para estes tipos de ensaios são retirados da madeira ainda no estado verde (saturado). Porém, como os demais ensaios mecânicos seriam realizados somente com madeira na condição seca (climatizada), adotou-se a metodologia descrita a seguir, para possibilitar a retirada dos corpos-de-prova para todos os ensaios numa única operação, que garantisse a aleatoriedade dos mesmos dentro das vigas inteiramente íntegras.

Os corpos-de-prova para os ensaios de massa específica e retratibilidade, uma vez retirados das vigas climatizadas, tiveram suas dimensões determinadas diretamente pelo uso de paquímetros e os pesos por pesagem em balança para, posteriormente, serem levados à saturação em água.

Para acelerar o processo de saturação, os corpos-de-prova foram tratados a vácuo, em dessecador, por um período de 12 minutos, sem a presença de água. Posteriormente, foi admitida a água no dessecador, sem o alívio do vácuo, de modo que os corpos-de-prova ficassem submersos, restritos através do auxílio de pesos, colocados inicialmente sobre os mesmos.

Subseqüentemente foi aplicada mais uma sessão de vácuo, por mais 12 minutos, e observada a estabilização da saída de bolhas de ar dos corpos-de-

prova. Ao final deste período foi aliviado o vácuo e os corpos-de-prova foram mantidos no dessecador, submersos em água, com pesos sobre os mesmos, por um período de 60 horas para permitir adequada absorção d'água.

Posteriormente, os corpos-de-prova para os ensaios de massa específica e retratibilidade tiveram suas dimensões medidas diretamente pelo uso de paquímetros e os pesos avaliados por pesagem em balança, determinados primeiramente na condição saturada e, posteriormente, após secagem em estufa até peso constante, no estado anidro.

As determinações do conteúdo de umidade em cada etapa foram feitas através da norma COPANT 460 (1972).

Os demais procedimentos adotados nos ensaios de massa específica e retratibilidade, inclusive o cálculo para obtenção do valor numérico de cada propriedade, foram os mesmos prescritos na norma COPANT 461 e 462 (1972), respectivamente.

3.7.2. Ensaios Mecânicos

Os corpos-de-prova destinados aos ensaios mecânicos foram confeccionados segundo recomendações das normas citadas a seguir, conforme cada ensaio específico.

Foram realizados ensaios de flexão estática (corpo-de-prova com dimensões de 5 x 5 x 75 cm), compressão paralela às fibras, compressão perpendicular às fibras, cisalhamento paralelo às fibras e fendilhamento, segundo

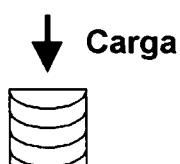
a COPANT 555 (1973), 464 (1972), 466 (1972), 463 (1972) e 741 (1975), respectivamente.

Os cálculos dos valores numéricos de cada propriedade foram também efetuados segundo as prescrições das normas citadas acima, assim como também foram determinados os teores de umidade dos corpos-de-prova após os ensaios.

3.7.2.1. Ensaio de Flexão Estática

No ensaio de flexão estática a carga foi aplicada sempre na face tangencial dos corpos-de-prova, sobre o lado côncavo dos anéis de crescimento, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Face de Aplicação da Carga no Ensaio de Flexão Estática



Tal metodologia foi adotada a fim de expor as fibras mais externas da madeira à ruptura por tração, correspondentes à porção mais próxima possível da casca, devido à hipótese de ter sido esta a região mais atingida pela ação do calor produzido pelo fogo.

3.7.2.2. Ensaio de Flexão Dinâmica

No ensaio de flexão dinâmica a carga foi aplicada da mesma maneira descrita anteriormente para o ensaio de flexão estática.

Neste ensaio, o corpo-de-prova de 2 x 2 x 30 cm repousa sobre dois apoios cilíndricos de 15 mm de raio, de forma a ser atingido pelo martelo exatamente no meio do vão entre cilindros, de 24 cm.

A leitura do trabalho total absorvido pela ruptura do corpo-de-prova (W), foi feita diretamente em uma escala graduada em kgm, sobre a qual desliza um cursor acionado pelo próprio martelo quando este descreve a sua trajetória ascendente, após o impacto.

De posse do valor de W e da área da seção transversal do corpo-de-prova (a x b), medida no centro do vão, calculou-se o coeficiente de resiliência = $W/a \times b$, cujo resultado é expresso em kgm/cm^2 .

3.7.2.3. Ensaio de Compressão Perpendicular às Fibras

Os corpos-de-prova submetidos à compressão perpendicular às fibras tiveram o carregamento efetuado sempre na sua face radial, para evitar a influência da variação da resistência entre os lenhos inicial e tardio.

3.7.2.4. Ensaio de Cisalhamento Paralelo às Fibras

Nos ensaios de cisalhamento, o cisalhamento deu-se no plano radial, a fim de se evitar a grande influência dos anéis de crescimento, ou a diferença entre os lenhos inicial e tardio.

3.7.2.5. Ensaio de Fendilhamento

Nos ensaios de fendilhamento, o plano de fendilhamento também foi o radial, a fim de se evitar os mesmos problemas citados no item anterior.

3.7.2.6. Equipamentos Utilizados nos Ensaio

Os ensaios de flexão estática (MOR e MOE), compressão perpendicular (tensão máxima e tensão no limite de proporcionalidade), cisalhamento (tensão máxima) e fendilhamento (tensão máxima), foram realizados numa máquina universal de ensaios da marca EMIC com capacidade para 10 toneladas de carga, instalada no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas do CPGEF, da UFPR. A máquina é dotada de células de carga cambiáveis e medidor de deformação (interno), conectados a um computador que monitora todo o ensaio controlando a velocidade de carregamento, fazendo a aquisição e o processamento dos dados e fornecendo automaticamente os resultados conforme programação prévia, baseada nas prescrições das normas já referidas e utilizadas para cada ensaio específico.

Os resultados dos ensaios, como as cargas de ruptura e as curvas carga x deformação, foram registrados em arquivos próprios, os quais podem ser recuperados e reproduzidos sempre que necessário, além de serem também anotados em planilhas.

Os ensaios de compressão paralela foram efetuados numa máquina universal de ensaios da marca *Tinius Olsen* com capacidade para 30 toneladas de carga, instalada no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas do CPGEF da UFPR.

A máquina utilizada encontrava-se acoplada a um computador dotado de um sistema de aquisição de dados que monitorou o ensaio. Os acréscimos de carga e as deformações correspondentes, bem como as cargas máximas, foram registradas pelo computador num arquivo distinto para cada ensaio conduzido.

Os arquivos gerados, correspondentes a cada ensaio efetuado, foram exportados para um *software* estatístico (*Statistica for Windows*). Neste programa os arquivos foram abertos e então reproduzida graficamente a curva carga x deformação, do tipo y e x, respectivamente, para cada ensaio.

De posse das curvas reproduzidas foram calculadas a tensão máxima, o módulo de elasticidade e a tensão no limite proporcional, conforme o procedimento e o cálculo usual, de acordo com as prescrições da norma citada para o ensaio.

3.7.3 Teor de Umidade da Madeira dos Corpos-de-Prova Ensaaiados

O teor de umidade de todos os corpos-de-prova foi determinado logo após a realização dos ensaios para obtenção do valor de cada propriedade avaliada, segundo o procedimento descrito na norma COPANT 460 (1972).

Posteriormente, foi calculada a média do teor de umidade dos corpos-de-prova e o intervalo de confiança da média, estabelecido com 5% de probabilidade de erro ($\alpha = 0,05$), para cada tipo de propriedade.

O teor de umidade médio da madeira dos corpos-de-prova ensaiados e o intervalo de confiança, são apresentados no rodapé das tabelas dos resultados de cada propriedade considerada no estudo.

3.8. PROCESSAMENTO DOS DISCOS E PREPARO DO MATERIAL PARA A ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

Após descarregados os discos destinados à análise química, os mesmos foram empilhados nas dependências do Laboratório de Preservação e Secagem da Madeira do CPGEF, utilizando-se separadores de 3,0 cm de espessura x 1,0 cm de largura e 12 cm de comprimento, permanecendo assim até o momento do seu processamento. Devido a algumas limitações que se impuseram naquela oportunidade, foi previsto que não seria possível realizar a análise química da madeira de todos os níveis de queima, como planejado. Diante de tal

circunstância, tomou-se a decisão de dar prioridade às análises químicas das madeiras da testemunha e do nível de queima IV; a primeira por tratar-se da madeira de referência e a segunda por ter sido a que esteve sujeita à maior intensidade de fogo, tendo-se assim a possibilidade de analisar os componentes químicos da madeira exposta à condição mais extrema.

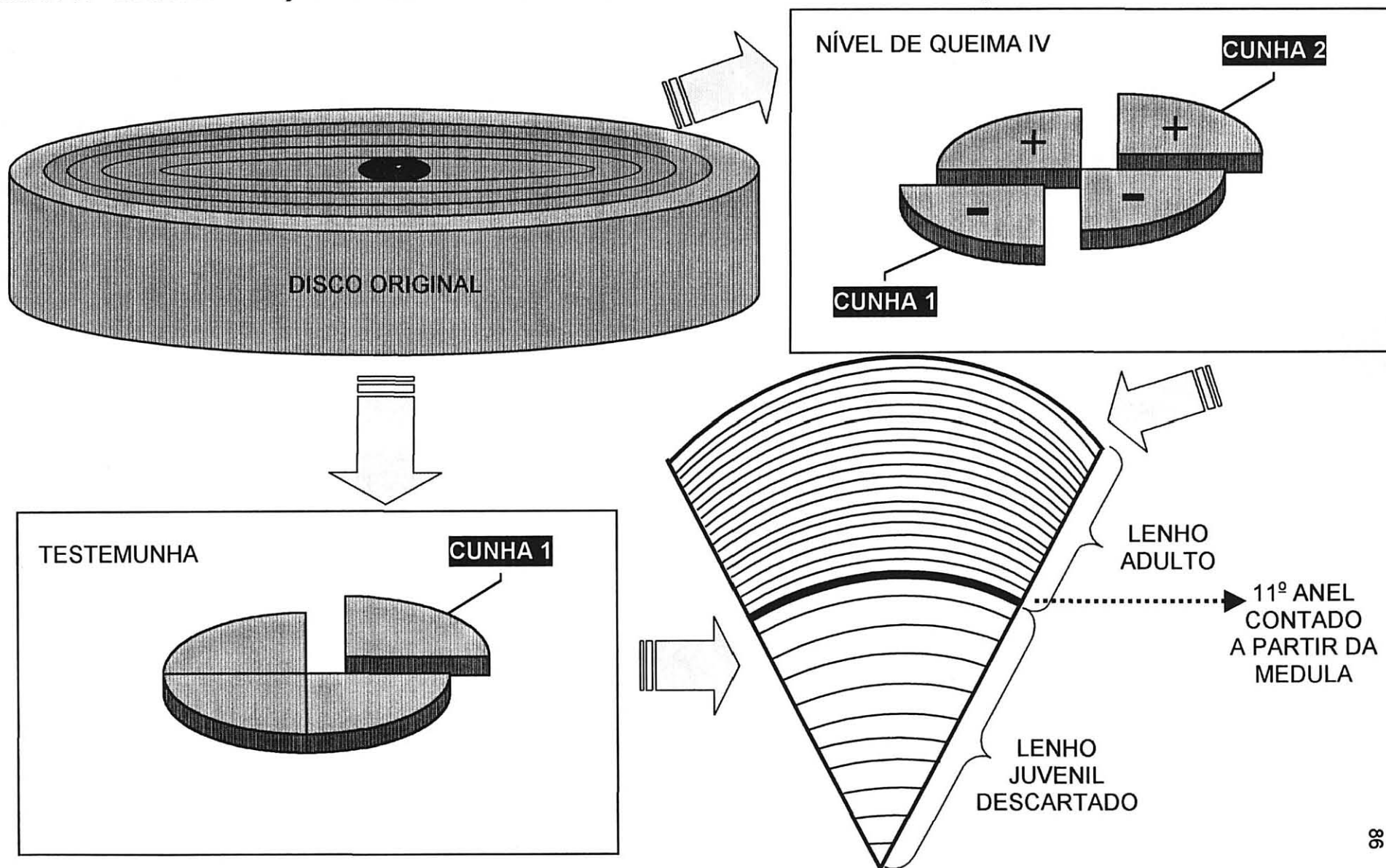
Os discos coletados de árvores do nível de queima IV foram processados retirando-se duas cunhas, com vértices na posição medular opostos, sendo uma do lado (+) e, a outra do lado (-) de cada disco, conforme mostra a Figura 11. Para este propósito usou-se uma serra-fita e as cunhas retiradas foram então devidamente codificadas em suas faces com lápis cópia.

Os discos coletados de árvores testemunhas também foram processados, retirando-se somente uma cunha por disco, o que pode ser visto na Figura 11.

Posteriormente, todas as cunhas de madeira retiradas e codificadas foram descascadas. As cunhas destinadas ao preparo do material para análise química foram acondicionadas em sala de climatização.

Após o período de climatização as cunhas foram lixadas para se obter uma melhor visualização dos seus anéis de crescimento. Depois de lixadas, as cunhas tiveram seus lenhos adulto e juvenil identificados através da contagem dos anéis de crescimento a partir da medula, em direção à casca. Para definir o limite entre os lenhos juvenil e adulto convencionou-se o 11º anel contado a partir da medula, conforme mostra a Figura 11. Após identificados nas cunhas os dois tipos de lenhos existentes, o lenho juvenil foi excluído das mesmas, por meio de uma serra-fita.

FIGURA 11 - ESQUEMATIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM DO DISCO EM CUNHAS E IDENTIFICAÇÃO DOS DOIS TIPOS DE LENHO



Para definir o limite entre os lenhos adulto e juvenil baseou-se em ZOBEL (1971), citado por MUÑIZ (1993), que "caracteriza esses tipos de lenho baseado na evolução dos elementos anatômicos que os constituem. A madeira adulta refere-se ao lenho que apresenta traqueóides estabilizados em crescimento. Para *Pinus taeda*, essa estabilização foi encontrada a partir do intervalo do 11º ao 13º anel de crescimento para árvores de trinta anos de idade". A mesma definição baseou-se, também, no trabalho de BENDTSEN & SENFT (1986), citados por MUÑIZ (1993), que calcularam a proporção de lenho juvenil em *Pinus taeda* e *Populus deltoides* de 20 a 100 anos e chegaram à conclusão que o último ano de lenho juvenil é o 12º no *Pinus* e 17º no *Populus*.

A metodologia descrita foi adotada com a finalidade de se excluir a variabilidade existente entre os dois tipos de lenho, quanto às suas características químicas, entre outras, que de certa maneira poderia mascarar os resultados das análises efetuadas, com o objetivo de identificar uma eventual modificação devida ao efeito da temperatura, bem como para se ter material representativo da composição química das vigas amostradas para ensaios físicos e mecânicos.

Excluído o lenho juvenil das cunhas, as mesmas foram transformadas em cavacos que foram passados em moinhos de martelos de grande e pequeno porte, sucessivamente, obtendo-se assim serragem de granulometria adequada para se ter um bom rendimento na operação seguinte que foi a de classificação.

A operação de classificação da serragem deu-se através de peneiras metálicas de 10, 20, 40 e 60 *mesh* e agitador mecânico.

O material selecionado para as análises químicas foi aquele retirado da fração 40/60, ou seja, fração de serragem que atravessa a peneira de 40 *mesh* e fica retida na peneira de 60 *mesh*.

O material retido nas outras frações foi reprocessado, reclassificado e embalado em sacos plásticos de 13 x 24 x 0,12 cm, os quais foram identificados com a mesma codificação dos discos originais, segundo o mesmo procedimento adotado para o material selecionado anteriormente.

Antes de proceder-se à análise química, toda a serragem classificada foi acondicionada em câmara de climatização. Durante a climatização a serragem foi espalhada sobre bandejas de madeira e freqüentemente revolvida com o auxílio de uma colher, por quinze dias. Ao final do período de climatização, toda a serragem foi novamente embalada, e os sacos plásticos, encerrados com barbante.

3.8.1. Análises Químicas

Inicialmente, todas as amostras sob a forma de serragem, destinadas às análises químicas, tiveram o seu teor de umidade determinado, conforme as prescrições da Norma ABCP M 2/71.

Posteriormente, procederam-se às análises de solubilidade de extrativos em água fria através da Norma TAPPI T 1 m-59 e de solubilidade da madeira em hidróxido de sódio (NaOH) a 1% segundo a Norma ABCP M 5/68. Estas análises foram desenvolvidas no Laboratório de Química da Madeira do CPGEF da UFPR.

Foi também realizada a determinação sequencial de extrativos totais, holocelulose e lignina, no Setor de Química, Celulose e Energia do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, segundo uma norma própria de uso corrente naquele laboratório, cuja marcha analítica empregada encontra-se descrita no Anexo 1.

3.9. FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente foi organizado um banco de dados contendo os diâmetros das árvores, levantados em campo, para a testemunha e os níveis de queima, e fez-se uma análise de homogeneidade de variância para os diâmetros. Ao se efetuar a análise, constatou-se serem homogêneas as variâncias diamétricas.

Os resultados finais obtidos nos ensaios físicos, mecânicos e químicos da madeira foram passados das fichas originais para arquivos em computador, organizados em planilhas do programa *Excel for Windows*, segundo cada propriedade considerada. Os arquivos, por sua vez, foram subdivididos em pastas para a testemunha e os demais níveis de queima, constituindo assim o banco de dados.

Posteriormente, foram organizados arquivos incluindo todos os resultados distintos por propriedade considerada, sob a forma de dados em linhas (árvore, nível de queima, seção e grau), conforme o delineamento experimental empregado, e exportados para o sistema SAS (*Statistical Analysis System for Windows*) onde foi processada a análise estatística dos resultados.

A análise estatística dos resultados das determinações físicas e mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* compreendeu, inicialmente, uma análise hierárquica de variância. Os fatores hierárquicos considerados foram o nível de queima (testemunha e níveis de queima I, II, III e IV), a seção (A e B das toras) dentro do nível de queima e o grau de queima (lado + e lado -) dentro da seção.

A análise hierárquica de variância objetivou a verificação simultânea do efeito da intensidade do fogo sobre as propriedades da madeira entre os níveis de queima (testemunha e demais níveis), e dentro dos níveis de queima (seção e grau).

Dentro dos níveis de queima o efeito do fator seção buscou identificar a influência de uma possível variação da temperatura vertical externa à árvore, produzida no momento do incêndio, sobre as propriedades da madeira localizada no interior da árvore.

Da mesma maneira o efeito do grau de queima buscou identificar a influência de uma possível variação da temperatura externa à árvore, entre os seus dois lados, sobre as propriedades da madeira localizada no interior da árvore.

Após a análise da variância, para comparação dos valores médios das propriedades físico-mecânicas, referentes aos fatores analisados que tiveram significância estatística, foi aplicado o teste de médias de *Tukey* ao nível de probabilidade de 5% de erro.

Como já observado anteriormente, a avaliação dos componentes químicos da madeira foi somente efetuada para dois tratamentos, ou seja, testemunha e nível de queima IV. Neste caso, a análise estatística correspondeu a análise da

variância para os componentes químicos considerados, buscando a verificação da influência dos tratamentos sobre estes. Para esta análise foram utilizadas as médias entre os graus (+ e -) dos resultados das determinações dos componentes químicos da madeira do nível de queima IV.

O critério utilizado para concluir sobre a existência ou não do efeito do fogo sobre as propriedades das madeiras, sob o ponto de vista estatístico, foi o de comparação individual do valor médio de cada nível de queima com o valor médio da testemunha utilizada como referência, segundo o resultado do teste de Tukey para as propriedades físicas e mecânicas e, para os componentes químicos, somente segundo a análise de variância. Neste último caso, por tratar-se da análise entre dois tratamentos, deve ser registrado que o resultado da análise de variância é equivalente ao do teste "t" de Student.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO FOGO

A determinação dos parâmetros do comportamento do fogo tem importância para avaliar os danos causados em incêndios florestais sobre as árvores de um determinado povoamento, principalmente em relação às suas chances de sobrevivência.

Os valores médios da velocidade do vento e da temperatura utilizados no cálculo da altura de crestamento foram 2 m/s e 22,8 °C, respectivamente.

Os resultados dos parâmetros do comportamento do fogo determinados são apresentados na Tabela 1.

Considerando as variáveis climáticas verificadas no momento do incêndio, observou-se que as mesmas foram favoráveis para o desenvolvimento do incêndio, tendo em vista a alta temperatura, baixa umidade relativa, bem como o longo período de estiagem precedente ao sinistro.

Outros fatores que provavelmente contribuíram para o desenvolvimento do incêndio foram a existência de uma grande quantidade de material lenhoso disperso, remanescente das operações de desbaste e colheita anteriormente efetuadas (por exemplo ponteiros, ramos grossos e finos), que se traduziram em material combustível seco disponível para queima, bem como a ocorrência de um sub-bosque predominantemente composto pela “taquarinha”, um tipo de bambu

fino pertencente a família *Poaceae*, que se desenvolve a alturas suficientes para servir de escada para o fogo atingir as copas das árvores.

Contudo, os efeitos do fogo foram distintos sobre as árvores pertencentes aos diferentes níveis de queima verificados no campo.

TABELA 1 - PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO FOGO PARA AS ÁRVORES DOS NÍVEIS DE QUEIMA I, II, III e IV

Parâmetros	Altura de Queima (m)	Porcentagem de Queima em Relação à Altura das Árvores (%)	Intensidade do Fogo (kcal/m.s)	Altura de Crestamento (m)	Porcentagem de Crestamento em Relação à Altura das Árvores (%)
Nível de Queima I	0,96	3,73	57,05	3,15	12,35
Nível de Queima II	4,88	21,96	1965,87	49,87	>100
Nível de Queima III	9,24	42,84	7855,85	127,35	>100
Nível de Queima IV	23,05	100	57105,90	480,02	>100

Conforme exposto na tabela acima, no nível de queima I a altura média das chamas correspondeu a 3,7% da altura total das árvores; a intensidade do fogo foi de 57,05 kcal/m.s, considerada baixa, e a altura de crestamento foi de 12,35% em relação à altura das árvores, portanto, insuficiente para causar o crestamento da copa.

De acordo com tais parâmetros pode-se dizer que neste nível de queima não houve danos às árvores e, segundo NOSTE & DAVIS (1975) e SOARES (1982), citados por SOARES & TOZZINI (1987), intensidade de fogo semelhante à encontrada para este nível de queima, quando obtida por queima controlada, pode ser benéfica ao povoamento, sob diversos aspectos.

Quanto ao nível de queima II, a altura média das chamas atingiu aproximadamente 22% da altura total das árvores e a intensidade média do fogo chegou a 1965,87 kcal/m.s. Esta intensidade excedeu o limite de 132 kcal/m.s que, segundo BROWN & DAVIS (1979), citado por SOARES & TOZZINI (1987), seria o limite máximo que um povoamento de coníferas poderia suportar sem sofrer danos.

Em concordância com a citação acima, neste nível de queima a altura média de crestamento ultrapassou a altura das árvores. Porém, duas árvores apresentaram altura de crestamento letal inferior a 90% das suas alturas médias.

De acordo com DIETRICH (1979), citado por SOARES & TOZZINI (1987), as coníferas podem resistir e sobreviver ao crestamento letal de até 90% da sua altura média total. Portanto, as duas árvores que apresentaram altura de crestamento letal inferior, teriam chances de sobrevivência, mas seu incremento em crescimento seria reduzido.

As demais árvores do nível de queima II teriam as suas chances de sobrevivência comprometidas.

Com relação ao nível de queima III, o fogo chegou a queimar até cerca de 43 % da altura média das árvores, e a intensidade média alcançada pelo fogo foi de 7855,85 kcal/m.s, considerada muito alta, e propiciou uma altura de

crestamento letal que ultrapassou a altura das árvores, matando toda a folhagem das copas. Portanto, no nível de queima III, as árvores tiveram mortalidade total.

Para o nível de queima IV, houve incêndio de copa, tendo sido as mesmas totalmente consumidas pelo fogo. A intensidade do fogo foi extremamente alta e com grande potencial destruidor, não tendo, assim, nenhuma árvore sobrevivido.

4.2. PROPRIEDADES FÍSICAS

4.2.1. Análise da Variância

Através da análise da variância apresentada resumidamente no Quadro 1, a seguir, e completa nos Anexos 2 a 8, separadamente por propriedade física analisada, pode-se observar que os fatores seção da tora (A e B) e grau (+ e -) testados dentro de cada tratamento, ou seja, dentro da testemunha e demais níveis de queima, não foram significativos estatisticamente ao nível de probabilidade de 5%, consideradas todas as variáveis analisadas.

A ausência de significância estatística do fator seção indica que não houve diferença entre os resultados das propriedades físicas obtidas dos corpos-de-prova retirados das seções A e B das árvores dentro de cada nível de queima, inclusive da testemunha.

Para a testemunha, a ausência de significância estatística do fator seção era esperada, pois os corpos-de-prova foram amostrados de vigas retiradas paralelamente à casca e, portanto, dentro do mesmo tipo de lenho.

QUADRO 1 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA AS PROPRIEDADES FÍSICAS -
VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

VARIÁVEIS ANALISADAS	FATORES HIERÁRQUICOS	ESTATÍSTICA DO TESTE	
		F	Pr > F
MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	Nível de Queima	3,13	0,0168 *
	Seção (Queima)	0,82	0,5181 ^{NS}
	Grau (Seção)	0,15	0,8610 ^{NS}
MASSA ESPECÍFICA SECA	Nível de Queima	3,77	0,0060 *
	Seção (Queima)	0,60	0,6622 ^{NS}
	Grau (Seção)	0,03	0,9709 ^{NS}
MASSA ESPECÍFICA ANIDRA	Nível de Queima	3,85	0,0053 *
	Seção (Queima)	0,61	0,6592 ^{NS}
	Grau (Seção)	0,05	0,9477 ^{NS}
CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA	Nível de Queima	2,51	0,0450 *
	Seção (Queima)	1,03	0,3965 ^{NS}
	Grau (Seção)	0,32	0,7262 ^{NS}
CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA	Nível de Queima	4,36	0,0023 *
	Seção (Queima)	1,57	0,1882 ^{NS}
	Grau (Seção)	1,61	0,2057 ^{NS}
CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA	Nível de Queima	3,46	0,0099 *
	Seção (Queima)	1,43	0,2299 ^{NS}
	Grau (Seção)	1,07	0,3462 ^{NS}
ANISOTROPÍA DE CONTRAÇÃO MÁXIMA	Nível de Queima	5,67	0,0003 *
	Seção (Queima)	1,09	0,3677 ^{NS}
	Grau (Seção)	1,71	0,1851 ^{NS}

* = Significativo estatisticamente ao nível de probabilidade de 5% de erro para $(Pr > F) < 0,05$

NS = Não significativo estatisticamente

Para os demais níveis de queima, se houve um gradiente vertical de temperatura externo à árvore no momento do incêndio, este não foi suficientemente intenso para provocar resultados distintos no interior das árvores, entre as seções amostradas, em relação às propriedades físicas consideradas. Deste modo, com base na análise da variância, pode-se dizer que qualquer

variação que possa ter ocorrido na madeira dentro dos primeiros 4 metros de comprimento das árvores, por nível de queima, foi estatisticamente uniforme.

O grau (+) representa o lado da tora que a frente de fogo atingiu primeiramente ficando exposto a uma temperatura maior que aquela referente ao lado oposto, designado grau (-).

A ausência de significância estatística do fator grau indica que não houve diferença entre os resultados das propriedades físicas obtidas dos corpos-de-prova retirados dos dois lados das árvores (grau - e grau +), dentro de ambas as seções e de cada nível de queima, inclusive da testemunha (nível de queima 0, onde a posição de amostragem referente ao fator grau foi aleatorizada). Isto significa que o diferencial de temperatura entre os dois lados das árvores, se houve, não foi capaz de modificar a madeira do interior do fuste de maneira diferenciada. Deste modo, qualquer variação que possa ter ocorrido na madeira, com relação às suas propriedades físicas, entre os dois lados da tora e dentro das seções e respectivos níveis de queima, foi também considerada estatisticamente uniforme.

Por outro lado, a análise da variância indicou haver diferença significativa para o fator nível de queima (testemunha e níveis de queima I, II, III, e IV) ao nível de probabilidade de 5%, consideradas todas as propriedades físicas.

Isto significa que pelo menos um dos níveis de queima, doravante também denominados tratamentos, diferiu dos demais segundo suas propriedades físicas, agora desconsideradas as seções e graus, e portanto levado em conta o conjunto todo dos corpos-de-prova amostrados de todas as árvores.

Como não é possível apenas através da análise de variância, determinar os tratamentos que apresentaram diferenças significativas entre os valores médios respectivos as propriedades físicas das suas madeiras, procedeu-se posteriormente o teste de Tukey objetivando tal finalidade.

4.2.2. Valores Médios das Propriedades Físicas

4.2.2.1. Massa Específica Básica

A Tabela 2 apresenta os valores médios da massa específica básica, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

Através do teste de Tukey não foram detectadas diferenças significativas para os valores médios da massa específica básica entre os níveis de queima e testemunha.

Em outras palavras, considerando-se o valor médio da massa específica básica da testemunha como referência, as massas específicas básicas de todos os níveis de queima foram equivalentes estatisticamente à mesma e, sob este ponto de vista ou pelo critério adotado, o efeito do fogo não foi significativo sobre aquela propriedade.

Os valores médios das massas específicas básicas referentes aos níveis de queima II e III equivaleram-se estatisticamente e diferiram do valor médio da massa específica básica do nível de queima IV. Esta foi a razão pela qual a

análise da variância indicou haver diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, quando se verificou a influência do fator nível de queima.

TABELA 2 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE		
	Massa Específica Básica ¹ (g/cm ³)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	0,47 ^{0,06}	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	0,48 ^{0,05}	AB
NÍVEL DE QUEIMA II	40	0,49 ^{0,04}	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	0,48 ^{0,03}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	19	0,45 ^{0,03}	B

1 - Massa da madeira determinada a 0% de teor de umidade e o volume na condição saturada

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A madeira do nível de queima IV foi a que apresentou o menor valor médio para a massa específica básica, entre todos os tratamentos.

Sabe-se através da literatura que a massa específica básica está direta e linearmente correlacionada com as propriedades físicas e mecânicas da madeira, na maioria dos casos. Para a anisotropia de contração, a relação é inversa.

Devido à existência destas correlações, era esperado que a madeira do nível de queima IV, tendo apresentado o menor valor médio da massa específica básica, viesse a apresentar valores relativamente inferiores para as propriedades mecânicas e para as contrações, e um valor superior para anisotropia de contração, o que foi confirmado.

Esperava-se também que os valores médios das propriedades físicas e mecânicas da madeira do nível de queima IV, embora inferiores, não fossem estatisticamente diferentes daqueles da testemunha, como exemplo do que ocorreu com os valores médios das suas massas específicas básicas. Isto foi confirmado para as propriedades físicas, porém para as propriedades mecânicas tais quais flexão estática, compressão paralela e flexão dinâmica, o mesmo não ocorreu.

Este fato chama a atenção para a possibilidade de ter havido influência de um outro elemento sobre as propriedades mecânicas supracitadas, além daquela ocasionada pela massa específica básica.

Como hipótese, tal influência poderia ter sido exercida pelos extrativos solúveis em água fria, cujo teor médio encontrado na madeira do nível de queima IV foi significativamente menor do que o encontrado para a madeira da testemunha, o que pode ser observado na Tabela 19.

Também é possível supor que o menor teor de extrativos da madeira do nível de queima IV teria influenciado o resultado da sua massa específica básica que foi relativamente menor que o da testemunha. Porém, tal influência teria sido de pouca magnitude e por isto não foi encontrada diferença significativa para as massas específicas básicas entre os dois tratamentos.

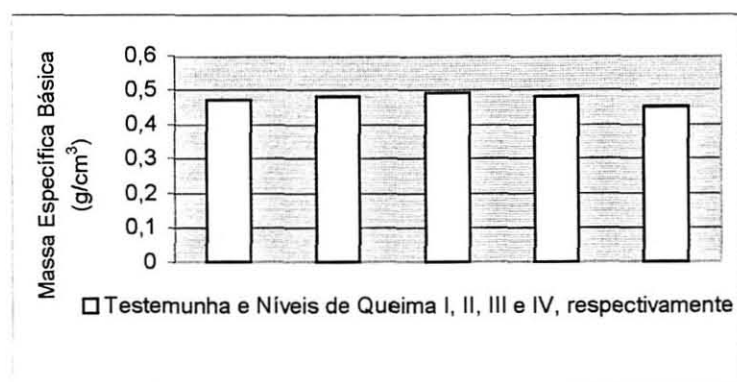
As hipóteses levantadas anteriormente estão baseadas na literatura onde autores como TSOUMIS (1991); GARCIA & QUIRINO (1993), citados por ROCHA (1994), entre outros, afirmam que a madeira cujos extrativos foram removidos, apresenta massa específica relativamente menor; bem como uma menor resistência, notadamente à compressão paralela, mas também à flexão estática e

dinâmica segundo autores como AJOUNG & BREESE (1997); EL-OSTA, BADRAN & AJOUNG (1981) e LUXFORD (1931), citados por SCHNIEWIND & BERNDT (1991).

De acordo com os resultados obtidos e as hipóteses formuladas, pode-se ponderar que a contribuição dos extrativos solúveis em água fria foi mais importante sobre algumas das propriedades mecânicas do que sobre as propriedades físicas, que não diferiram significativamente entre os níveis de queima e testemunha.

Através da Figura 12 é possível visualizar graficamente os valores médios da massa específica básica por tratamento. Nesta figura, pode-se constatar que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da massa específica básica e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 12 -GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA



4.2.2.2. Massa Específica Seca

A Tabela 3 apresenta os valores médios da massa específica seca, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

TABELA 3 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA SECA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE		
	Massa Específica Seca ¹ (g/cm ³)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	0,58 ^{0,07}	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	0,59 ^{0,07}	AB
NÍVEL DE QUEIMA II	40	0,60 ^{0,06}	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	0,59 ^{0,04}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	19	0,55 ^{0,04}	B

1 - Madeira com teor de umidade em $14,14 \pm 0,08\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os valores médios da massa específica seca, dados na Tabela 3, apresentaram a mesma tendência dos valores médios obtidos para massa específica básica.

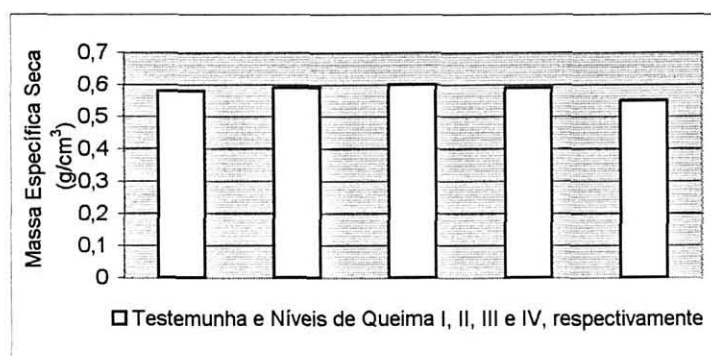
Da mesma maneira, não foram detectadas diferenças significativas para os valores médios da massa específica seca entre os níveis de queima e testemunha. Isto mostra que o efeito do fogo também não foi significativo sobre esta propriedade.

As variações da massa específica seca entre os tratamentos, como exemplo da massa específica básica, foram de pouca magnitude e podem ser

consideradas normais. Poderia se esperar que estas variações, por si só, não seriam suficientes para provocar modificações significativas na resistência das suas respectivas madeiras. Porém, tendo em vista as diferenças significativas encontradas para algumas das propriedades mecânicas da madeira do nível de queima III e IV, reitera-se a suposição dos extrativos solúveis em água fria terem influenciado tal resultado.

Através da Figura 13 é possível visualizar graficamente os valores médios da massa específica seca por tratamento. Nesta figura, pode-se constatar que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da massa específica seca e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 13 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA SECA



4.2.2.3. Massa Específica Anidra

A Tabela 4 apresenta os valores médios da massa específica anidra, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

TABELA 4 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA ANIDRA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE		
	Massa Específica Anidra ¹ (g/cm ³)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	0,54 ^{0,07}	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	0,55 ^{0,07}	A
NÍVEL DE QUEIMA II	40	0,57 ^{0,06}	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	0,55 ^{0,04}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	19	0,51 ^{0,04}	B

1 - Massa e volume da madeira determinados a 0% de teor de umidade

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os valores médios da massa específica anidra dados na tabela acima, apresentaram a mesma tendência dos valores médios obtidos para as massas específicas básica e seca.

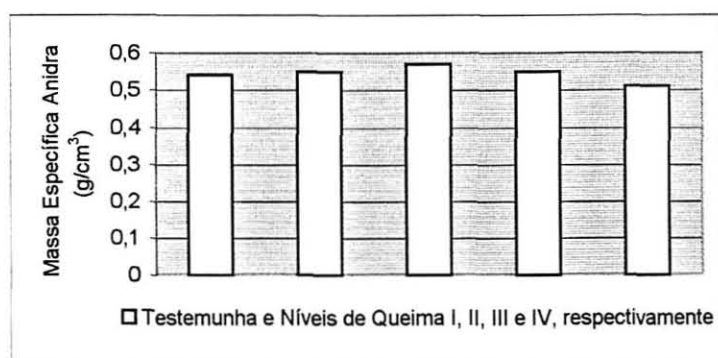
Através do teste de Tukey não foram encontradas diferenças estatísticas para os valores médios da massa específica anidra entre os níveis de queima e testemunha.

Este fato merece as mesmas interpretações feitas para as massas específica básica e seca, ou seja, para esta propriedade o efeito do fogo também não foi significativo.

As variações encontradas para os valores médios da massa específica anidra, entre os tratamentos, também foram de pouca magnitude e podem ser consideradas normais.

A Figura 14 evidencia que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da massa específica anidra e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo, do mesmo modo que ocorreu para as massas específicas básica e seca.

FIGURA 14 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA ANIDRA



4.2.2.4. Contração Tangencial Máxima

A Tabela 5 apresenta os valores médios da contração tangencial máxima, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

TABELA 5 - VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE		
	Contração Tangencial Máxima ¹ (%)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	7,66 ^{1,00}	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	7,97 ^{0,87}	A
NÍVEL DE QUEIMA II	39	7,83 ^{0,84}	AB
NÍVEL DE QUEIMA III	40	7,72 ^{0,75}	AB
NÍVEL DE QUEIMA IV	18	7,24 ^{0,80}	B

¹ - Teor de umidade da madeira variando da condição saturada à 0% de umidade

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Segundo o teste de Tukey, nenhum dos níveis de queima diferiu significativamente da testemunha com relação aos valores médios da contração tangencial máxima. Portanto, estatisticamente, o efeito do fogo não foi significativo sobre esta propriedade. Também na prática, as pequenas variações encontradas entre os valores médios da contração tangencial podem ser consideradas normais.

Sabe-se, da literatura, que existe uma relação direta entre massa específica e contração. MUÑIZ (1993), determinou o coeficiente de correlação entre massa

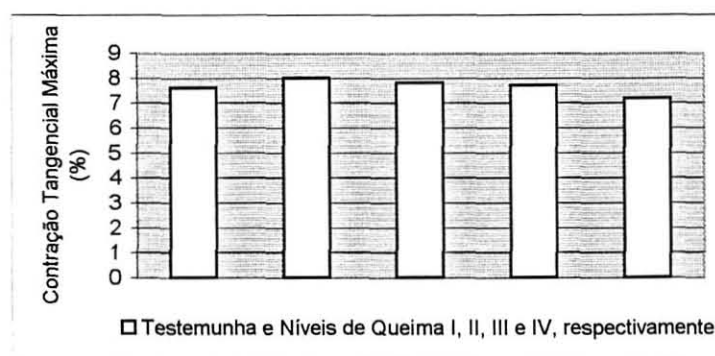
específica básica e contração tangencial máxima para *Pinus taeda* e encontrou o valor de 0,87, o que comprova a boa correlação existente entre aquelas variáveis para esta espécie.

De maneira geral os valores médios das retrações tangenciais máximas, referentes a todos os tratamentos, foram coerentes com os valores médios das suas respectivas massas específicas básicas.

Em síntese, a ausência de significância estatística do efeito do fogo sobre a contração tangencial máxima observada entre os níveis de queima e testemunha era esperada, uma vez que o mesmo ocorreu para massa específica básica que é correlacionada com aquela propriedade.

Examinando a Figura 15 é possível observar que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da contração tangencial máxima e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 15 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA



4.2.2.5. Contração Radial Máxima

A Tabela 6 apresenta os valores médios da contração radial máxima, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

Através do teste de Tukey não foram detectadas diferenças significativas para os valores médios da contração radial máxima entre nenhum dos níveis de queima e testemunha. Deste modo, segundo o ponto de vista estatístico e do critério adotado, não houve efeito significativo do fogo sobre tal propriedade.

A existência de uma relação direta entre massa específica e contração já foi comentada anteriormente. MUÑIZ (1993), determinou o coeficiente de correlação entre massa específica básica e contração radial máxima para *Pinus taeda* e encontrou o valor de 0,94. Segundo os dados da mesma autora, pode ser observado que a massa específica básica e a contração radial correlacionaram-se melhor que a massa específica básica e a contração tangencial ($R=0,87$).

Os níveis de queima II e IV foram os que apresentaram o maior e o menor valor médio para contração radial máxima, respectivamente. Este fato era esperado uma vez em que suas respectivas massas específicas básicas também apresentaram o maior e o menor valor médio encontrado entre os tratamentos, o que pode ser visto na Tabela 2.

De maneira geral, os valores médios das retrações radiais máximas encontrados neste trabalho foram compatíveis com os valores médios das suas respectivas massas específicas básicas e são concordantes com a literatura.

As variações dos valores médios da contração radial máxima podem ser consideradas normais e não são expressivas do ponto de vista prático, bem como não foram do estatístico.

TABELA 6 - VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA

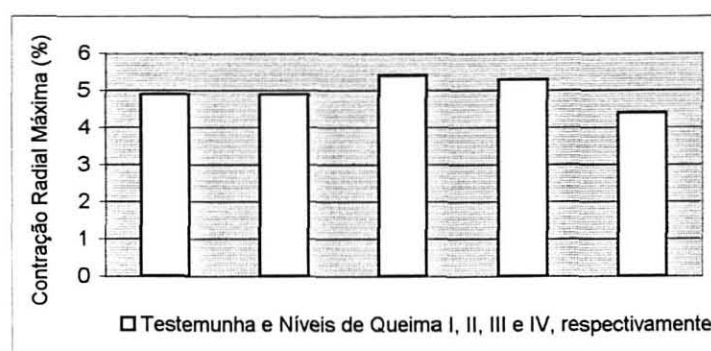
TRATAMENTOS	PROPRIEDADE		
	Contração Radial Máxima ¹ (%)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	4,95 ^{1,38}	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	4,93 ^{0,99}	AB
NÍVEL DE QUEIMA II	39	5,41 ^{0,97}	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	5,33 ^{0,74}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	18	4,39 ^{0,68}	B

1 - Teor de umidade da madeira variando da condição saturada à 0% de umidade

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Através da Figura 16, é possível observar que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da contração radial máxima e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 16 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA



Também é possível observar que a Figura 16 descreve um perfil gráfico semelhante ao da Figura 12, representativa dos valores médios da massa específica básica, devido à existência de uma boa correlação entre as duas variáveis. Isto sugere que as variações dos valores médios da contração radial máxima, assim como as variações dos valores da contração tangencial máxima, são devidas às variações da massa específica. Neste ponto, confirmou-se também o esperado, que era não haver diferenças significativas para os valores médios da contração radial máxima entre níveis de queima e testemunha, devido ter ocorrido o mesmo para a massa específica básica.

4.2.2.6. Contração Volumétrica Máxima

A Tabela 7 apresenta os valores médios da contração volumétrica máxima, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

Através do teste de Tukey é possível constatar que os valores médios da contração volumétrica de todos os níveis de queima equivaleram-se estatisticamente ao valor médio da testemunha. Segundo o resultado deste teste, o efeito do fogo não foi significativo sobre esta propriedade.

Os níveis de queima II e IV foram os que apresentaram o maior e menor valor médio para contração volumétrica máxima, respectivamente. O resultado é coerente, uma vez em que suas respectivas massas específicas básicas também apresentaram o maior e o menor valor médio encontrado entre os tratamentos.

TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA

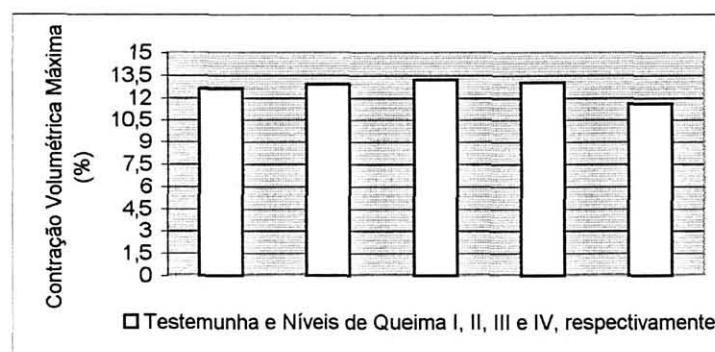
TRATAMENTOS	PROPRIEDADE		
	Contração Volumétrica Máxima ¹ (%)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	12,61 ^{2,13}	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	12,89 ^{1,74}	A
NÍVEL DE QUEIMA II	39	13,24 ^{1,69}	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	13,06 ^{1,18}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	18	11,63 ^{1,31}	B

1 - Teor de umidade da madeira variando da condição saturada à 0% de teor de umidade

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A Figura 17 ilustra graficamente os valores médios da contração volumétrica máxima por tratamento. Pelo exame da mesma figura é possível observar que o seu perfil gráfico é semelhante aos das Figuras 12, 13 e 14, representativas dos valores médios das massa específicas básica, seca e anidra, respectivamente.

FIGURA 17 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA



Isto mostra que as variações volumétricas acompanharam as variações de massa específica da madeira, atestando as afirmações de KOLLMANN (1968) que diz que quanto maior a massa específica da madeira maior é a retração linear e volumétrica. MUÑIZ (1993), encontrou um coeficiente de correlação de 0,92 para aquelas variáveis, trabalhando com *Pinus taeda*.

Em síntese, confirmou-se o esperado, que era não haver diferenças significativas para os valores médios da contração volumétrica máxima entre níveis de queima e testemunha, devido ter ocorrido o mesmo para a massa específica básica.

Examinando a Figura 17, ainda é possível observar que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da contração volumétrica máxima e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo.

4.2.2.7. Anisotropia de Contração Máxima

A Tabela 8 apresenta os valores médios da anisotropia de contração máxima, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

Através do teste de Tukey não foram encontradas diferenças significativas para os valores médios da anisotropia de contração entre os níveis de queima e testemunha. Isto quer dizer que o efeito do fogo não foi significativo sobre tal propriedade.

As variações dos valores médios da anisotropia podem ser consideradas normais do ponto de vista prático, como foram do estatístico.

Sabe-se pela literatura que para certas espécies existe relação entre anisotropia de contração e massa específica. De acordo com os dados de MUÑIZ (1993), obtidos com madeira de *Pinus taeda*, esta relação foi linear e inversa, ou seja, com o aumento da massa específica foi encontrada uma redução da anisotropia de contração. A mesma autora, obteve um coeficiente de correlação de -0,70 para estas variáveis.

TABELA 8 - VALORES MÉDIOS DA ANISOTROPÍA DE CONTRAÇÃO MÁXIMA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE		
	Anisotropia de Contração Máxima ¹ (%)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	1,62 ^{0,30}	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	1,65 ^{0,25}	A
NÍVEL DE QUEIMA II	39	1,48 ^{0,18}	B
NÍVEL DE QUEIMA III	40	1,47 ^{0,23}	B
NÍVEL DE QUEIMA IV	18	1,68 ^{0,23}	A

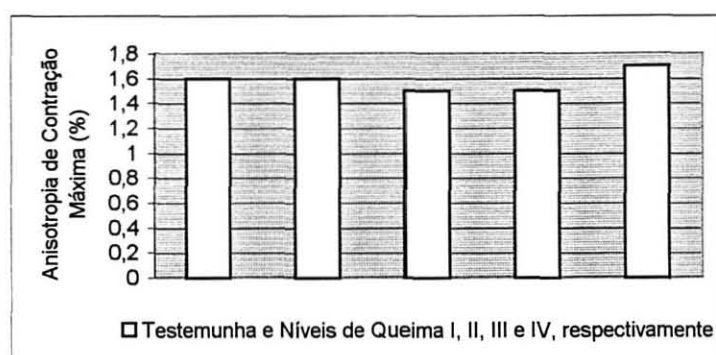
1 - Relação entre as contrações tangencial e radial máximas

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

De acordo com os dados de MUÑIZ (1993), os valores médios da anisotropia obtidos neste trabalho foram coerentes com as suas respectivas massas específicas básicas, o que pode ser observado na Figura 18.

Na Figura 18 pode ainda ser observado que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da anisotropia de contração máxima e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 18 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO MÁXIMA



4.3. PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.3.1. Análise da Variância

Através da análise da variância mostrada resumidamente no Quadro 2, a seguir, e completa nos Anexos 9 a 18, separadamente por propriedade mecânica analisada, pode-se observar que os fatores seção e grau testados dentro de cada tratamento, ou seja, dentro da testemunha e demais níveis de queima, não foram significativos estatisticamente.

A ausência de significância estatística para os fatores seção e grau quanto as propriedades mecânicas leva às mesmas considerações efetuadas anteriormente no item 4.2.1 para as propriedades físicas, que são aqui também válidas integralmente, porque os resultados das análises de variância para ambas as propriedades foram concordantes em relação aos fatores testados.

Portanto, reitera-se que para os níveis de queima I, II, III e IV, se houve um gradiente vertical de temperatura externo à árvore no momento do incêndio, este não foi suficientemente intenso para provocar resultados discrepantes no interior das árvores, entre as seções amostradas, em relação às propriedades mecânicas consideradas. Deste modo, com base nas análises de variância, pode-se dizer que qualquer variação que possa ter ocorrido na madeira dentro dos primeiros 4 metros de comprimento das árvores, por nível de queima, foi uniforme.

**QUADRO 2- ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA AS PROPRIEDADES MECÂNICAS-
VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS**

VARIÁVEIS ANALISADAS		FATORES HIERÁRQUICOS	ESTATÍSTICA DO TESTE	
			F	Pr > F
FLEXÃO ESTÁTICA	MOR	Nível de Queima	6,84	0,0001 *
		Seção (Queima)	0,51	0,7302 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,13	0,8758 ^{NS}
	MOE	Nível de Queima	5,53	0,0003 *
		Seção (Queima)	0,80	0,5269 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,35	0,7099 ^{NS}
COMPRESSÃO PARALELA	Tensão Máxima	Nível de Queima	7,72	0,0001 *
		Seção (Queima)	0,18	0,9465 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,29	0,7472 ^{NS}
	Tensão no L. P.	Nível de Queima	8,12	0,0001 *
		Seção (Queima)	0,70	0,5940 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,24	0,7848 ^{NS}
	MOE	Nível de Queima	3,80	0,0057 *
		Seção (Queima)	0,88	0,4811 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,27	0,7630 ^{NS}
COMPRESSÃO PERPENDICULAR	Tensão Máxima	Nível de Queima	3,78	0,0060 *
		Seção (Queima)	0,13	0,9705 ^{NS}
		Grau (Seção)	1,09	0,3392 ^{NS}
	Tensão no L. P.	Nível de Queima	4,03	0,0039 *
		Seção (Queima)	0,13	0,9722 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,72	0,4884 ^{NS}
CISALHAMENTO	Tensão Máxima	Nível de Queima	2,28	0,0642 ^{NS}
		Seção (Queima)	0,79	0,5392 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,68	0,5077 ^{NS}
FENDILHAMENTO	Tensão Máxima	Nível de Queima	8,16	0,0001 *
		Seção (Queima)	0,76	0,5574 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,28	0,7540 ^{NS}
FLEXÃO DINÂMICA	Coefficiente De Resiliência	Nível de Queima	4,18	0,0031 *
		Seção (Queima)	0,73	0,5725 ^{NS}
		Grau (Seção)	0,25	0,7768 ^{NS}

* = Significativo estatisticamente ao nível de probabilidade de 5% de erro para (Pr > F) < 0,05
NS = Não significativo estatisticamente

Com relação ao fator grau, reitera-se para os níveis de queima I, II, III, IV, que o diferencial de temperatura entre os dois lados das árvores, se houve, não foi capaz de modificar a madeira do interior do fuste de maneira diferenciada.

Portanto, qualquer variação que possa ter ocorrido na madeira, com relação às suas propriedades mecânicas, entre os dois lados da tora e dentro das seções e respectivos níveis de queima, foi também uniforme.

Por outro lado, da mesma maneira que ocorreu para as propriedades físicas, a análise da variância indicou haver diferença significativa para o fator nível de queima (testemunha e níveis de queima I, II, III, e IV), consideradas todas as propriedades mecânicas, exceto para o cisalhamento. Isto significa que pelo menos um dos níveis de queima diferiu dos demais segundo suas propriedades mecânicas, agora desconsideradas as seções e graus, e portanto levado em conta o conjunto todo dos corpos-de-prova amostrados de todas as árvores.

4.3.2. Valores Médios das Propriedades Mecânicas

4.3.2.1 Flexão Estática

4.3.2.1a Módulo de Ruptura (MOR) na Flexão Estática

A Tabela 9 apresenta os valores médios do módulo de ruptura (MOR) na flexão estática, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA (MOR) NA FLEXÃO ESTÁTICA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: FLEXÃO ESTÁTICA		
	Módulo de Ruptura ¹ (kgf/cm ²)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	734 ¹³³	A
NÍVEL DE QUEIMA I	40	789 ¹³⁰	A
NÍVEL DE QUEIMA II	40	795 ¹¹²	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	730 ⁹⁹	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	644 ¹¹³	B

1 - Madeira com teor de umidade em $14,40 \pm 0,06\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Através do teste de Tukey foram identificadas diferenças significativas para os valores médios do MOR entre o nível de queima IV e a testemunha. Isto mostra que o efeito do fogo foi significativo sobre a madeira do nível de queima IV, no que diz respeito à redução do seu MOR na flexão estática em cerca de 12%, em relação ao obtido para testemunha.

Do ponto de vista prático, pode-se considerar que tal diferença não inviabiliza o uso normal da madeira proveniente do nível de queima IV, inclusive o estrutural. Porém, mostra que sua capacidade de admitir carga é relativamente menor.

É necessário considerar que a madeira do nível de queima IV apresentou o menor valor médio da massa específica básica em relação a todos os outros tratamentos e, deste modo, era esperado que viesse a apresentar um valor médio de MOR, também inferior. Porém, para a massa específica não houve diferenças

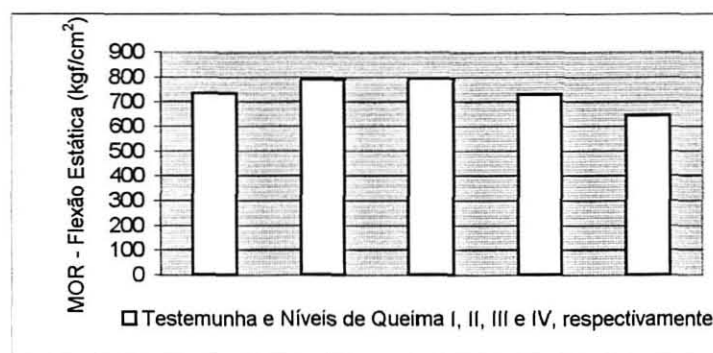
significativas entre nível de queima IV e testemunha e, esperava-se o mesmo para o MOR, o que não ocorreu.

Quanto ao exposto acima, supõe-se que poderia ter havido a influência dos extrativos, os quais teriam contribuído na redução do MOR relativo ao nível de queima IV.

A hipótese acima é levantada com base no menor valor médio do teor de extrativos em água fria, encontrado para o nível de queima IV, em relação à testemunha (*vide* Tab. 19), e respaldada em autores como EL-OSTA, BADRAN & AJOUNG (1981), ARGANBRIGHT (1971) e LUXFORD (1931), citados por SCHNIEWIND & BERNDT (1991); GARCIA & QUIRINO (1993), citados por ROCHA (1994); AJOUNG & BREESE (1997), que correlacionam a remoção de extrativos solúveis em água, ou a presença de um teor relativamente menor destes extrativos, com alterações nas propriedades mecânicas da madeira.

Na Figura 19 pode ser observado que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios do MOR na flexão e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 19 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MOR NA FLEXÃO ESTÁTICA



4.3.2.1b Módulo de Elasticidade (MOE) na Flexão Estática

A Tabela 10 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade (MOE) na flexão estática, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

Através do teste de Tukey foram identificadas diferenças significativas para os valores médios do MOE entre o nível de queima IV e a testemunha. Isto indica que o efeito do fogo foi significativo sobre as madeiras do nível de queima IV, no que diz respeito a redução do seu MOE na flexão em cerca de 17%, comparado ao obtido para testemunha.

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) NA FLEXÃO ESTÁTICA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: FLEXÃO ESTÁTICA		
	Módulo de Elasticidade ¹ (kgf/cm ²)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	100200 ²²⁰³⁴	A
NÍVEL DE QUEIMA I	40	108908 ²¹²¹⁰	A
NÍVEL DE QUEIMA II	40	103205 ¹⁹⁴⁴³	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	95522 ²²⁰³⁴	AB
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	83493 ²⁰⁰⁷²	B

1 - Madeira com teor de umidade em $14,40 \pm 0,06\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Do ponto de vista prático, pode-se dizer que a redução do MOE da madeira do nível de queima IV não inviabiliza o seu uso normal, inclusive para fins

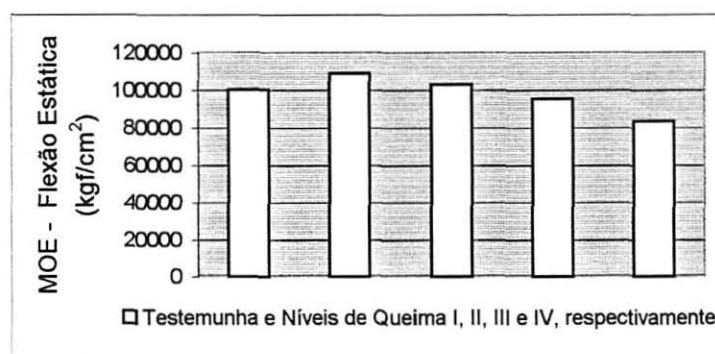
estruturais. Porém, indica que sua madeira possui relativamente menor rigidez ou maior deformabilidade em face da aplicação de cargas.

O menor valor médio do MOE, verificado para o nível de queima IV, era esperado, isto porque neste nível de queima também foi encontrado o menor valor médio da massa específica básica.

No entanto, não houve diferença significativa para os valores médios da massa específica básica entre nível de queima IV e testemunha. Por tal motivo, da mesma maneira citada para o MOR, é possível supor que o menor teor de extrativos referente ao nível de queima IV teria contribuído para a redução verificada para o valor médio do MOE deste nível de queima, em relação a testemunha.

É possível observar através da Figura 20 que esta descreve um perfil gráfico semelhante àquele obtido para o MOR (Fig. 19). Isto deve-se ao fato de haver boa correlação entre MOE e MOR, e de ambos com a massa específica.

FIGURA 20 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) NA FLEXÃO ESTÁTICA



Pelo exame da Figura 20 ainda pode ser observado que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios do MOE na flexão e os níveis de queima considerados, estes crescentes em intensidade de fogo.

4.3.2.2 Compressão Paralela às Fibras

4.3.2.2a Tensão Máxima na Compressão Paralela

A Tabela 11 apresenta os valores médios da tensão máxima na compressão paralela, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PARALELA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: COMPRESSÃO PARALELA		
	Tensão Máxima ¹ (kgf/cm ²)		
	Repetições	Média Desv. Pad.	*
TESTEMUNHA	39	254 ⁵⁹	A
NÍVEL DE QUEIMA I	40	255 ⁵⁰	A
NÍVEL DE QUEIMA II	40	251 ⁴²	AB
NÍVEL DE QUEIMA III	39	222 ³⁹	BC
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	205 ³⁶	C

1 - Madeira com teor de umidade em $14,16 \pm 0,04\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Através do teste de Tukey os únicos valores médios da tensão máxima na compressão paralela, que diferiram estatisticamente do valor médio da testemunha, foram os referentes aos níveis de queima III e IV. Isto indica que o efeito do fogo foi significativo sobre as madeiras dos níveis de queima III e IV, no que diz respeito à redução dos seus valores médios em 12% e 19%, respectivamente, comparados ao obtido para testemunha.

Pode-se considerar que as reduções verificadas não impedem, na prática, o uso normal das madeiras dos níveis de queima III e IV, inclusive o uso para fins estruturais. No entanto, os resultados mostram que estas madeiras apresentam relativamente menor capacidade de suportar cargas.

Como já foi visto, a madeira do nível de queima IV apresentou o menor valor médio da massa específica básica em relação a todos os outros tratamentos e, deste modo, era esperado que viesse a apresentar um valor médio para tensão máxima na compressão, também inferior. Porém, para a massa específica não houve diferenças significativas entre nível de queima IV e testemunha, esperando-se o mesmo para a propriedade ora analisada, o que não ocorreu. Como exposto anteriormente, supõe-se que isto poderia ter sido ocasionado por influência do menor teor de extrativos da madeira do nível de queima IV.

Para o nível de queima III, também baseado nos resultados da massa específica básica determinada para os tratamentos, esperava-se um valor médio para tensão máxima na compressão, superior ao da testemunha e não diferentemente significativo, o que não foi contemplado em ambos os casos.

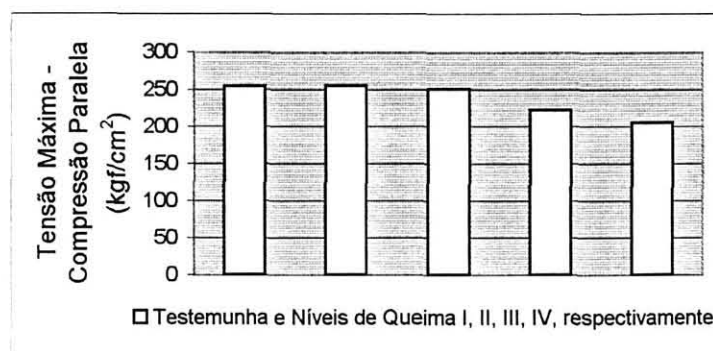
Neste caso supõe-se que a madeira do nível de queima III, no qual a intensidade de fogo foi muito alta, também teria um menor teor de extrativos solúveis em relação à testemunha.

As suposições feitas acima são amparadas pela literatura, que sugere serem os extrativos solúveis em água responsáveis pela redução da resistência da madeira, notadamente à compressão paralela, quando removidos desta, em comparação com a resistência de madeiras que não tiveram os seus extrativos removidos.

Os valores médios da tensão máxima na compressão paralela são apresentados graficamente na Figura 21. Nesta figura pode ser observado que os valores médios, referentes à testemunha e aos níveis de queima I e II, foram praticamente os mesmos, e os níveis III e IV apresentaram reduções em relação aos demais, conforme aumentou a intensidade de fogo.

Isto pode significar que a madeira foi mais susceptível a ter sua resistência reduzida, na compressão paralela, a partir da intensidade de fogo verificada para o nível de queima III.

FIGURA 21 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PARALELA



4.3.2.2b Tensão no Limite Proporcional (T.L.P.) na Compressão Paralela

A Tabela 12, a seguir, apresenta os valores médios da tensão no limite proporcional para compressão paralela, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

TABELA 12 - VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL PARA COMPRESSÃO PARALELA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: COMPRESSÃO PARALELA		
	Tensão no Limite Proporcional ¹ (kgf/cm ²)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	39	145 ⁴¹	A
NÍVEL DE QUEIMA I	40	141 ⁴⁸	A
NÍVEL DE QUEIMA II	40	126 ³⁹	AB
NÍVEL DE QUEIMA III	39	111 ³⁷	BC
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	95 ²⁰	C

1 - Madeira com teor de umidade em $14,16 \pm 0,04\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

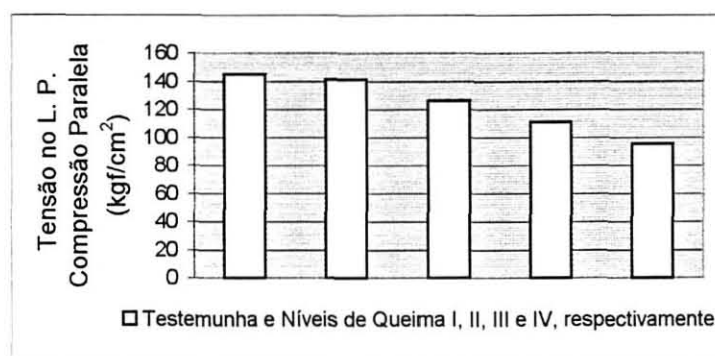
Pelo teste de Tukey, os valores médios referentes aos níveis III e IV diferiram significativamente do valor médio da tensão no limite proporcional obtido para a testemunha. Isto mostra que o efeito do fogo foi significativo sobre as madeiras dos níveis de queima III e IV, no que diz respeito à redução dos seus valores médios em 23% e 34%, respectivamente, comparados ao obtido para testemunha.

Os valores mostrados acima, por terem sido relativamente maiores, sugerem que a tensão no limite proporcional é mais sensível aos efeitos da intensidade do fogo, e supostamente dos extrativos, do que a tensão máxima na compressão.

Levando em conta que no dimensionamento de peças submetidas à compressão o aspecto da flambagem é importante e que neste sentido o módulo de elasticidade é a propriedade mais crítica, pode-se considerar que os menores valores médios da TLP encontrados para as madeiras do nível de queima III e IV não tornam as suas madeiras impróprias para o uso normal.

Os valores médios da tensão no limite proporcional para compressão paralela, são apresentados graficamente na Figura 22.

FIGURA 22 - VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PARALELA



Nesta figura, é possível observar que houve uma relação inversa entre a tensão no limite proporcional e os níveis de queima, estes crescentes em intensidade de fogo. Sendo assim, à medida em que aumentou a intensidade de fogo, os valores médios da tensão no limite diminuíram. Isto foi mais sensível a

partir do nível de queima II. Os valores médios da testemunha e do nível de queima I foram praticamente os mesmos.

Como contrapartida o módulo de elasticidade na compressão paralela foi mantido e não foi encontrada diferença significativa para os valores médios desta propriedade entre os níveis de queima e a testemunha, o que pode ser visto na Tabela 13, a seguir

4.3.2.2.c Módulo de Elasticidade (MOE) na Compressão Paralela

A Tabela 13 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade na compressão paralela, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

TABELA 13 - VALORES MÉDIOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) NA COMPRESSÃO PARALELA

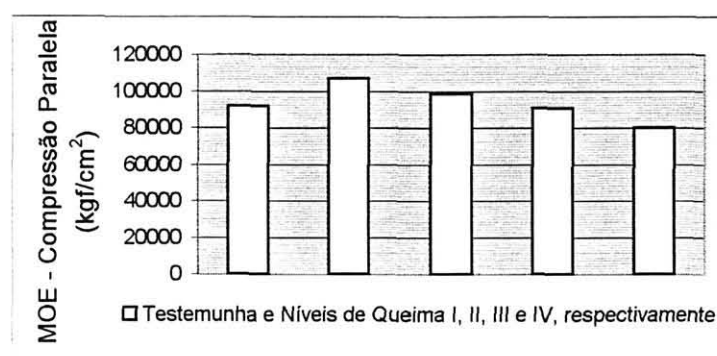
TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: COMPRESSÃO PARALELA		
	Módulo de Elasticidade ¹ (kgf/cm ²)		
	Repetições	Média Desv. Pad.	*
TESTEMUNHA	39	91773 ²⁵³⁴¹	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	106846 ³⁴⁷²⁵	A
NÍVEL DE QUEIMA II	40	98328 ²⁷⁷²¹	AB
NÍVEL DE QUEIMA III	39	90680 ²²⁸⁰⁴	AB
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	80119 ²⁴⁹³⁴	B

¹ - Madeira com teor de umidade em $14,16 \pm 0,04\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A Figura 23 mostra graficamente os valores médios do módulo de elasticidade na compressão paralela para todos os tratamentos.

FIGURA 23 - VALORES MÉDIOS DO MOE NA COMPRESSÃO PARALELA



Observando a Figura 23 pode-se notar que não houve relação direta ou inversa entre o MOE e os níveis de queima, crescentes em intensidade de fogo.

4.3.2.3 Compressão Perpendicular

4.3.2.3a Tensão Máxima na Compressão Perpendicular

A Tabela 14 apresenta os valores médios da tensão máxima na compressão perpendicular, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

Pelo teste de Tukey não foram detectadas diferenças significativas para os valores médios da tensão máxima na compressão perpendicular entre os níveis de queima e a testemunha. Isto quer dizer que o efeito do fogo não foi significativo sobre esta propriedade.

TABELA 14 - VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR

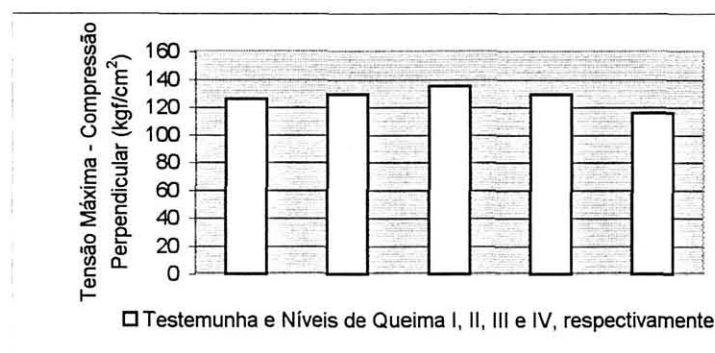
TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: COMPRESSÃO PERPENDICULAR		
	Tensão Máxima ¹ (kgf/cm ²)		
	Repetições	Média Desv. Pad.	*
TESTEMUNHA	39	126 ²¹	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	129 ¹⁴	AB
NÍVEL DE QUEIMA II	39	135 ¹³	A
NÍVEL DE QUEIMA III	39	129 ¹⁴	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	116 ¹⁷	B

1 - Madeira com teor de umidade em $13,73 \pm 0,06\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A Figura 24 apresenta graficamente os valores médios da tensão máxima na compressão perpendicular por tratamento. Analisando esta figura é possível observar que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da tensão máxima na compressão perpendicular e os níveis de queima, crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 24 - VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR



Ainda analisando a Figura 24, nota-se que a mesma descreve um perfil gráfico semelhante àquele representativo da massa específica básica, o que comprova a boa relação entre esta e a compressão perpendicular. Como ambas propriedades não diferiram significativamente entre a madeira do nível de queima IV e testemunha, presume-se que os extrativos não contribuem com a resistência da madeira à compressão perpendicular.

4.3.2.3b Tensão no Limite Proporcional na Compressão Perpendicular

A Tabela 15 apresenta os valores médios da tensão no limite proporcional na compressão perpendicular, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: COMPRESSÃO PERPENDICULAR		
	Tensão no Limite Proporcional ¹ (kgf/cm ²)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	82 ¹²	AB
NÍVEL DE QUEIMA I	40	83 ¹⁴	AB
NÍVEL DE QUEIMA II	40	89 ¹³	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	86 ¹¹	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	77 ¹⁷	B

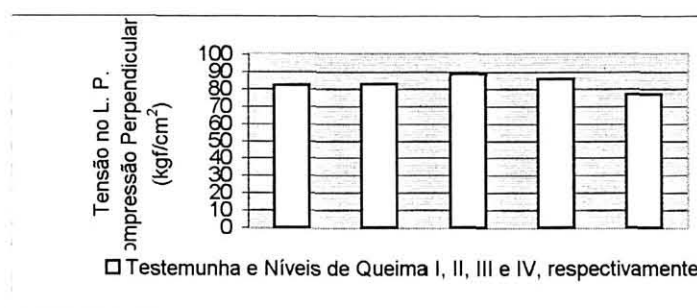
¹ - Madeira com teor de umidade em $14,16 \pm 0,04\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Através do teste de Tukey não foram detectadas diferenças significativas para os valores médios da tensão no limite proporcional na compressão perpendicular entre os níveis de queima e a testemunha. Isto mostra que o efeito do fogo não foi significativo sobre esta propriedade.

A Figura 25 mostra graficamente os valores médios da propriedade ora avaliada, por tratamento. Visualizando esta figura, como exemplo da tensão máxima, observa-se que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da tensão no limite proporcional e os níveis de queima, estes crescentes em intensidade de fogo. O valor médio desta propriedade para o nível de queima IV foi inferior a todos os valores médios dos demais tratamentos, confirmando a mesma tendência encontrada para as outras propriedades discutidas anteriormente.

FIGURA 25 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR



4.3.2.4 Cisalhamento Paralelo às Fibras

A Tabela 16 apresenta os valores médios da tensão máxima ao cisalhamento, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

No caso desta propriedade, o resultado da análise da variância apresentado no Quadro 2 já havia indicado não existir diferença estatística entre os tratamentos. Porém, o teste de Tukey foi realizado para confirmação deste resultado e é apresentado com o propósito de manter uniformidade com as demais tabelas exibidas. Portanto, também pelo teste de Tukey, não foram detectadas diferenças significativas para os valores médios da tensão máxima ao cisalhamento entre os tratamentos. Isto quer dizer que o efeito do fogo não foi significativo sobre tal propriedade, considerados todos os tratamentos.

TABELA 16 - VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA AO CISALHAMENTO

PROPRIEDADE: CISALHAMENTO PARALELO			
TRATAMENTOS	Tensão Máxima ¹ (kgf/cm ²)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	114 ¹⁶	A
NÍVEL DE QUEIMA I	40	119 ²¹	A
NÍVEL DE QUEIMA II	39	123 ¹⁶	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	118 ¹²	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	113 ¹⁴	A

1 - Madeira com teor de umidade em $13,43 \pm 0,05\%$

* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

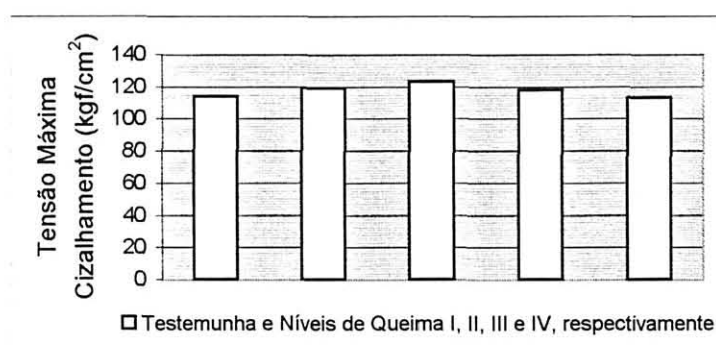
Mediante aos resultados obtidos acima, presume-se que a propriedade de cisalhamento seja praticamente insensível ao fogo, devido os valores médios referentes a todos os tratamentos terem sido muito próximos.

Presume-se, também, ser a mesma propriedade, insensível ao suposto efeito dos extrativos, haja visto o nível de queima IV, ter apresentado um valor médio muito semelhante ao da testemunha.

Estes resultados são importantes ao que refere-se à aplicação prática destas madeiras, uma vez em que a propriedade de cisalhamento é normalmente solicitada em alguns casos de uso de peças com função estrutural.

A Figura 26, apresenta graficamente os valores médios da tensão máxima ao cisalhamento. Pode ser observado nesta figura, que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da tensão máxima ao cisalhamento e os níveis de queima, estes crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 26 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA AO CISALHAMENTO



4.3.2.5 Fendilhamento

A Tabela 17 apresenta os valores médios da tensão máxima ao fendilhamento, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

Através do teste de Tukey os níveis de queima II e III diferiram estatisticamente da testemunha, com relação aos seus valores médios da tensão máxima ao fendilhamento, apresentando valores médios superiores.

TABELA 17 - VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA AO FENDILHAMENTO

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: FENDILHAMENTO		
	Tensão Máxima ¹ (kgf/cm)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	40	40 ⁸	BC
NÍVEL DE QUEIMA I	40	44 ⁷	AB
NÍVEL DE QUEIMA II	40	45 ⁷	A
NÍVEL DE QUEIMA III	40	46 ⁷	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	39 ⁷	C

1 - Madeira com teor de umidade em $14,12 \pm 0,05\%$

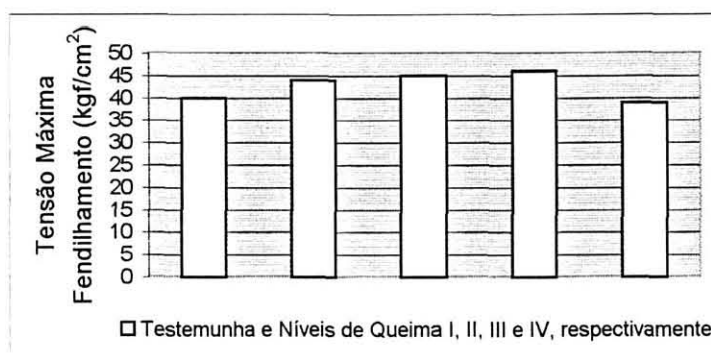
* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A propriedade de fendilhamento é indicativa da facilidade com que a madeira pode ser rachada. Madeiras menos resistentes ao fendilhamento racham-se com maior facilidade ao serem pregadas ou parafusadas. Segundo este aspecto, os valores médios superiores, das madeiras dos níveis II e III, constituem pequenas vantagens na sua aplicação prática sobre as madeiras dos outros

tratamentos. Porém, a importância da propriedade de fendilhamento é limitada. Exemplo disto, é o fato do seu valor médio não ser considerado no cálculo estrutural. Por outro lado, madeiras que racham-se relativamente com maior facilidade, são preferidas para obtenção de lenha.

A Figura 27 apresenta graficamente os valores médios dados para a propriedade por nível de queima. Nesta figura é possível observar que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios da tensão máxima ao fendilhamento e os níveis de queima, estes crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 27 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DA TENSÃO MÁXIMA AO FENDILHAMENTO POR TRATAMENTO



4.3.2.6 Flexão Dinâmica - Coeficiente de Resiliência

A Tabela 18 apresenta os valores médios do coeficiente de resiliência, obtidos para todos os tratamentos, e a comparação estatística destes valores.

Através do teste de Tukey, somente diferiu significativamente em relação a testemunha o valor médio do coeficiente de resiliência dado para o nível de

queima IV, apresentando uma redução de 17%. Isto mostra que o efeito do fogo foi significativo sobre a flexão dinâmica para madeira do nível de queima IV.

Este resultado evidencia ser a madeira do nível de queima IV menos resistente, e mais susceptível à ruptura quando solicitada a cargas súbitas, que as madeiras dos demais tratamentos. Isto requer cuidado especial ao utilizar-se deste tipo de madeira em aplicações tais como degrau de escada, perna de cadeira e cabo de ferramenta. A utilização de peças algo mais robustas seria uma possível medida para prevenir rupturas indesejáveis em serviço.

TABELA 18 - VALORES MÉDIOS DO COEFICIENTE DE RESILIÊNCIA NA FLEXÃO DINÂMICA

TRATAMENTOS	PROPRIEDADE: FLEXÃO DINÂMICA		
	Coeficiente de Resiliência ¹ (kgm/cm ²)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	39	0,6 ^{0,2}	A
NÍVEL DE QUEIMA I	38	0,6 ^{0,2}	A
NÍVEL DE QUEIMA II	40	0,7 ^{0,2}	A
NÍVEL DE QUEIMA III	39	0,7 ^{0,2}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	20	0,5 ^{0,2}	B

1 - Madeira com teor de umidade em $13,74 \pm 0,07\%$

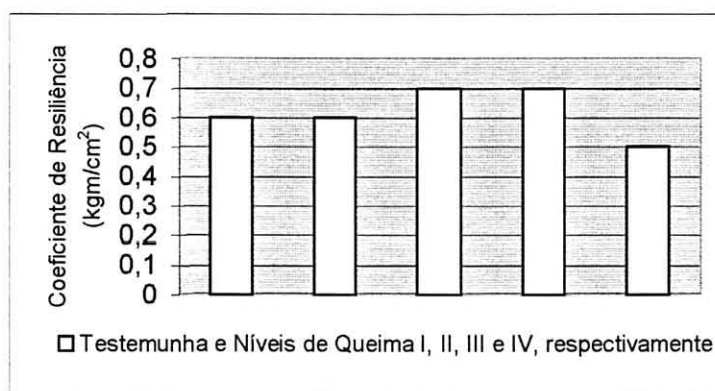
* - Médias com pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

É possível supor que o menor valor do teor de extrativos do nível de queima IV, em comparação com a testemunha, teria influenciado o resultado da flexão dinâmica, da mesma maneira como suposto para flexão estática e compressão

paralela. Todas estas propriedades são apontadas na literatura como susceptíveis aos efeitos dos extrativos presentes na madeira.

A Figura 28 mostra que não houve relação direta ou inversa entre os valores médios do coeficiente de resiliência e os níveis de queima, crescentes em intensidade de fogo.

FIGURA 28 - GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DO COEFICIENTE DE RESILIÊNCIA NA FLEXÃO DINÂMICA



4.4. ANÁLISE QUÍMICA

4.4.1. Análise da Variância

Através da análise da variância mostrada resumidamente no Quadro 3, a seguir, e completa nos Anexos 19 a 23, separadamente por componente químico analisado, pode ser observado que somente houve diferença estatística entre os

tratamentos testemunha e nível de queima IV para o teor de extrativos solúveis em água fria.

Para os demais componentes químicos determinados tais como lignina, holocelulose, extrativos totais e materiais solúveis em NaOH a 1%, não houve diferença estatística entre os referidos tratamentos.

Estes resultados indicam que o efeito do fogo só foi significativo sobre o teor de extrativos em água fria, não o sendo sobre os demais componentes.

QUADRO 3 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS COMPONENTES QUÍMICOS - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS

VARIÁVEIS ANALISADAS	TRATAMENTOS	ESTATÍSTICA DO TESTE	
		F	Pr > F
TEOR DE EXTRATIVOS SOLÚVEIS EM ÁGUA FRIA	Testemunha e Nível de Queima IV	5,58	0,0230 *
TEOR DE MATERIAIS SOLÚVEIS EM NaOH A 1%	Testemunha Nível de Queima IV	0,19	0,6634 ^{NS}
TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS	Testemunha Nível de Queima IV	0,06	0,8101 ^{NS}
TEOR DE LIGNINA	Testemunha Nível de Queima IV	0,94	0,3387 ^{NS}
TEOR DE HOLOCELULOSE	Testemunha Nível de Queima IV	0,74	0,3958 ^{NS}

* = Significativo estatisticamente ao nível de probabilidade de 5% de erro para $(Pr > F) < 0,05$

NS = Não significativo estatisticamente

4.4.2. Valores Médios dos Componentes Químicos

4.4.2.1 Teor de Extrativos Solúveis em Água Fria

Os extrativos da madeira solúveis em água fria compreendem taninos, gomas, açúcares e pigmentos ou corantes (ASTM, 1990 - D1110-84).

A Tabela 19 apresenta os valores médios do teor de extrativos solúveis em água fria para os tratamentos testemunha e nível de queima IV, os quais diferiram significativamente.

Isto mostra que o efeito do fogo foi significativo sobre a madeira do nível de queima IV, no que diz respeito a redução do seu valor médio do teor de extrativos solúveis em água fria, em cerca de 19%, quando relacionado ao obtido para a testemunha.

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DO TEOR DE EXTRATIVOS EM ÁGUA FRIA PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
	Teor de Extrativos Solúveis em Água Fria (%)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	28	2,1 ^{0,5}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	15	1,7 ^{0,4}	B

* - Tratamentos com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, comparados pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Baseado em EL-OLSTA, BADRAN & AJOUNG (1981), citados por SCHNIEWIND & BERNDT (1991), que disseram ser possível esperar que os

extrativos localizados dentro da parede celular tenham algum efeito sobre a resistência e a rigidez da madeira e em CHONG (1969), citado por MUNIZ (1993), que sugeriu encontrarem-se os extrativos solúveis em água, na sua totalidade, dentro da parede celular, é possível supor que o menor teor de extrativos solúveis em água fria poderia ter contribuído com a tendência de redução da resistência e da rigidez da madeira relativa ao nível de queima IV, verificada em face dos ensaios mecânicos realizados.

As diferenças significativas encontradas para compressão paralela, flexão estática e flexão dinâmica, são fatos que colocam em evidência a suposição acima e são concordantes com os resultados obtidos por LUXFORD (1931) e ARGANBRIGHT (1971), citados por SCHNIEWIND & BERNDT (1991), quanto à influencia dos extrativos sobre a resistência e sobre o módulo de elasticidade da madeira, respectivamente.

Com relação a resistência e a rigidez na compressão paralela, a suposição da influência do menor teor de extrativos e os resultados obtidos, também, não contrariam GARCIA & QUIRINO (1993), citados por ROCHA (1994), que constataram um decréscimo de 17,30% na resistência à compressão paralela em madeira de *Tabebuia* sp quando foram removidos apenas 1,9% de extrativos e, AJOUNG & BREESE (1997), que concluíram ter ocorrido um significativo e acelerado desenvolvimento do *creep* na compressão paralela quando foram removidos os extrativos residentes na parede celular.

Por outro lado, considerando como exemplo o caso da união entre peças ou partículas de madeira por colagem, um menor teor de extrativos na madeira pode ser um fator favorável uma vez que, de maneira geral, a presença dos mesmos

em certas quantidades pode interferir no tempo e nas reações de cura da cola e, por consequência, na formação e na performance da ligação.

4.4.2.2 Teor de Materiais Solúveis em NaOH a 1%

Os valores médios do teor de materiais solúveis em hidróxido de sódio a 1% são apresentados na Tabela 20 para os tratamentos testemunha e nível de queima IV. Estes eqüivaleram-se estatisticamente mostrando que o efeito do fogo não foi significativo sobre o teor de materiais solúveis em NaOH a 1%.

TABELA 20 - VALORES MÉDIOS DO TEOR DE MATERIAIS SOLÚVEIS EM NaOH A 1% PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
	Teor de Materiais Solúveis em NaOH a 1% (%)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	29	12,2 ^{1,1}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	15	12,0 ^{1,2}	A

* - Tratamentos com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, comparados pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os materiais solúveis em NaOH a 1% compreendem principalmente carboidratos de baixo peso molecular que consistem de hemiceluloses e celulose degradada na madeira. O teor destes materiais solúveis é um indicativo do grau de deterioração dada por fungos, ou de degradação dada pela ação do calor, da luz, da oxidação e etc. Quanto maior a deterioração ou a degradação, maior seria

o teor de materiais solúveis da madeira em hidróxido de sódio a 1% (ASTM, 1990 - D 1109 - 84).

Os resultados aqui apresentados estão coerentes com as observações iniciais feitas no campo, onde não foram verificados ataques de fungos nas árvores ainda em pé, após o incêndio, indicando também que tal condição foi resguardada até o momento dos ensaios químicos. Por outro lado, mostram que a intensidade de fogo, no nível de queima IV, não foi suficiente para degradar as hemiceluloses e a celulose componentes da madeira do referido nível de queima, em relação a testemunha.

4.4.2.3 Teor de Extrativos Totais

A Tabela 21 apresenta os valores médios dos extrativos totais avaliados para os tratamentos testemunha e nível de queima IV. Estes equívocaram-se estatisticamente mostrando que o efeito do fogo não foi significativo sobre o teor de extrativos totais, como já foi observado anteriormente.

Os extrativos totais incluem resinas, açúcares livres, compostos fenólicos, ácidos graxos, dentre outros (BRITO, 1991).

Deve ser observado que o ensaio empregado, no qual se fez a remoção dos extrativos totais, objetivou primordialmente a determinação dos teores de lignina e holocelulose, feita a partir de madeira livre de extrativos.

Sabe-se pela literatura que os extrativos solúveis em água encontram-se, na sua totalidade, localizados dentro da parede celular e, são eles, capazes de

influenciar as propriedades de resistência e rigidez da madeira. Estes, são mais ou menos solúveis em solventes orgânicos.

Pelo mesmo modo, sabe-se que os extrativos insolúveis em água, porém solúveis em solventes orgânicos, encontram-se em boa parte confinados nos capilares grossos, bem como nos espaços intercelulares e canais resiníferos, não influenciando as propriedades da madeira.

TABELA 21 - VALORES MÉDIOS DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
	Teor de Extrativos Totais		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	*
TESTEMUNHA	29	3,3 ^{0,7}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	15	3,3 ^{0,9}	A

* - Tratamentos com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, comparados pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os extrativos totais abarcam parcelas de ambos os tipos de extrativos, ou seja, os solúveis em água e os insolúveis. Portanto, o resultado do teor de extrativos totais é de pouca importância prática, do ponto de vista do correlacionamento destes com a resistência da madeira, uma vez que retira maiores quantidades de extrativos da mesma, incluindo aqueles que não contribuem para sua resistência, o que pode ocultar, por exemplo, pequenas diferenças existentes quanto ao teor de extrativos solúveis em água fria.

4.4.2.4 Teor de Lignina

A Tabela 22 apresenta os valores médios dos teores de lignina avaliados para os tratamentos testemunha e nível de queima IV. Estes equívalem-se estatisticamente mostrando que o efeito do fogo não foi significativo sobre o teor de lignina.

TABELA 22 - VALORES MÉDIOS DO TEOR DE LIGNINA PARA TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
	Teor de Lignina (%)		
	Repetições	Média ^{Desv. Pad.}	Tukey ¹
TESTEMUNHA	29	27,1 ^{1,5}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	15	27,7 ^{2,5}	A

* - Tratamentos com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, comparados pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Este resultado é importante porque indica que no nível de queima IV, a intensidade do fogo e o eventual aumento da temperatura interna da madeira, não foram suficientes para causar a degradação da lignina. Segundo o IPT (1986), a pirólise, ou a degradação térmica da lignina na madeira, ocorre entre as temperaturas de 250 a 500°C.

A equivalência dos teores de lignina apresentados descartaria a formulação de hipóteses sobre a possibilidade da madeira do nível de queima IV tratar-se de madeira de compressão, que poderia justificar sua menor resistência. Esta observação é feita baseada em TIMMEL (1986), que através de extensa

bibliografia, comprova que a madeira de compressão apresenta um elevado teor de lignina, quando comparada à madeira normal. O mesmo autor cita os resultados da composição química do *Pinus taeda*, determinada por PILLOW and BRAY (1935), que obtiveram teores de lignina de 28,3% para madeira normal e de 35,2% para madeira de compressão.

Por outro lado, também devido à equivalência dos teores de lignina apresentados, é pouco provável que as amostragens das madeiras da testemunha e do nível de queima IV tenham abrangido diferentes tipos de lenho, que poderia também justificar as diferenças de resistência encontradas para suas madeiras. Isto também comprova a eficiência da metodologia utilizada no preparo das amostras para análise química, quando o lenho juvenil foi identificado e excluído. Estas observações baseiam-se em BENDTSEN (1978), citado por MUÑIZ (1993), que enumera os fatores de diferenciação do lenho juvenil e adulto, entre os quais o teor de lignina, que é maior no lenho juvenil.

As considerações feitas anteriormente levam a crer que, a tendência de redução das propriedades mecânicas da madeira do nível de queima IV, não poderia ser explicada, relacionando a mesma, com madeira de compressão ou com madeira de lenho juvenil.

4.4.2.5 Teor de Holocelulose

A Tabela 23 apresenta os valores médios dos teores de holocelulose avaliados para os tratamentos testemunha e nível de queima IV, os quais

equivaleram-se estatisticamente pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade, procedido em face da análise da variância. Isto mostra que o efeito do fogo não foi significativo sobre o teor de holocelulose.

O resultado apresentado é importante porque indica que, no nível de queima IV, a intensidade do fogo e o eventual aumento da temperatura interna da madeira não foram suficientes para causar a degradação da holocelulose.

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DO TEOR DE HOLOCELULOSE PARA TESTEMUNHA E NÍVEIS DE QUEIMA IV

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
	Teor de Holocelulose (%)		
	Repetições	Média <small>Desv. Pad.</small>	*
TESTEMUNHA	29	69,6 ^{1,6}	A
NÍVEL DE QUEIMA IV	15	69,1 ^{2,5}	A

* - Tratamentos com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si, comparados pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Segundo o IPT (1986), a holocelulose compreende as hemiceluloses e a celulose da madeira. A pirólise, ou a degradação térmica das hemiceluloses na madeira, ocorre na faixa de temperatura entre 225 a 325°C. Isto ocorre para a celulose na faixa de temperatura entre 325 a 375°C.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados da análise da composição química das madeiras das árvores testemunha e do nível de queima IV, não foram constatadas diferenças significativas entre seus constituintes fundamentais, ou seja, entre os seus teores de holocelulose (hemiceluloses + celulose) e de lignina.

Não houve a degradação térmica das hemiceluloses e celulose da madeira, as quais constituem, nesta mesma ordem, os elementos mais sensíveis à ação do calor entre os componentes fundamentais da madeira, sendo esta observação também comprovada pela determinação da solubilidade da madeira em NaOH.

O fato de não ter havido a degradação térmica dos componentes fundamentais da madeira das árvores do nível de queima IV indica que a temperatura interna do lenho das árvores não elevou-se ao ponto de provocar tal degradação.

Como hipóteses que impediram a degradação térmica dos componentes fundamentais da madeira, poder-se-ia considerar os seguintes fatores: 1) o isolamento térmico, promovido pela casca espessa - que é uma característica da espécie estudada, que teria atuado diminuindo o fluxo de calor para o interior do lenho; 2) a absorção térmica, que prevê a utilização do calor que teria entrado no lenho, na vaporização da água presente¹; 3) após a carbonização da casca esta se tornou um elemento benéfico, uma vez em que nesta condição ela reduz a

¹ Segundo IPT (1986), a presença de água na madeira aumenta a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura da madeira, pois parte dela será consumida por evaporação. Por outro lado, a presença da água aumenta a condutibilidade térmica da madeira, aumentando, consequentemente, o fluxo de calor pela região úmida.

quantidade de produtos inflamáveis liberados e contribui para extinção da chama, reduzindo também o fluxo de calor, devido à baixa condutibilidade térmica do carvão; e 4) o curto tempo de condução do calor e de exposição à alta temperatura irradiada pela chama, devido à relativamente rápida¹ passagem da frente de fogo.

Levando-se em conta as considerações feitas acima é de se esperar que as madeiras das árvores dos níveis de queima I, II e III, embora sem terem tido sua composição química determinada, também teriam mantido seus constituintes fundamentais inalterados, uma vez que nestes níveis de queima as intensidades de fogo foram inferiores às verificadas para o nível de queima IV e, portanto, sujeitas a ação do calor em menor grau.

Com base nas constatações anteriores, não seria de se esperar a ocorrência de fortes variações nas propriedades físicas e mecânicas das madeiras das árvores atingidas pelo fogo, que inviabilizassem a sua utilização.

Considerando os resultados dos teores de extrativos solúveis em água fria, que diferenciaram-se estatisticamente entre a madeira não atingida pelo fogo (testemunha) e a madeira do nível de queima IV, e baseando-se na literatura, que menciona serem aqueles mesmos extrativos capazes de solubilizarem-se em água e migrar com algum movimento desta, bem como quando residentes na parede celular (ou removidos desta), serem capazes de influenciar a massa

¹ O termo "relativamente rápida" refere-se ao tempo de fornecimento de calor trazido da superfície externa da árvore, que foi suficiente somente para ocasionar a carbonização da casca e, provavelmente, aumentar a temperatura interna do lenho.

específica básica e as propriedades mecânicas da madeira, faz-se necessário estabelecer uma inter-relação entre estes fatos.

Primeiramente, há o fato da madeira do nível de queima IV ter apresentado teor de extrativos solúveis significativamente menor que o da madeira da testemunha. Por suposição, este fato seria indicativo de que poderia ter havido a migração de uma parcela dos extrativos solúveis da porção de madeira amostrada nos ensaios, para a madeira de outras regiões não amostradas da árvore.

Como hipótese, isto teria ocorrido no momento do incêndio ocasionado por uma movimentação de água no interior do lenho, em função da intensidade de fogo extremamente alta a que foram submetidas as árvores do nível de queima IV e, por conseguinte, pelo aumento da temperatura interna do lenho.

Deve ser considerado que mesmo após a passagem da frente de fogo a temperatura interna alcançada pelo lenho ainda teria mantido-se por algum tempo devido à inércia térmica e, gradativamente, teria regredido ao nível normal. Também deve-se considerar que a solubilidade dos extrativos aumenta com o aumento da temperatura. Estas considerações querem dizer que, supostamente, a solubilização dos extrativos e o eventual movimento migratório dos mesmos, poderiam ter se prolongado até o momento em que o lenho restabeleceu a sua temperatura normal.

Com base nas citações da literatura, pode ser considerado que há indícios de que o menor teor de extrativos da madeira do nível de queima IV, teria exercido influência sobre as propriedades físicas e mecânicas da sua madeira.

Sobre a massa específica básica esta suposta influência teria sido de pouca magnitude porque não foram identificadas diferenças significativas entre a madeira

do nível de queima IV e testemunha. Entretanto, a madeira do nível de queima IV apresentou a menor massa específica básica em relação a todos os tratamentos, o que pode estar relacionado com seu menor teor de extrativos solúveis em água fria. Tal relacionamento não contraria os diversos autores citados na literatura que fazem alusão sobre o fato da madeira que tem seus extrativos removidos, apresentar menor massa específica.

A partir da massa específica básica, observou-se uma tendência de redução de todas as demais propriedades físicas e mecânicas para a madeira do nível de queima IV. Isto era esperado uma vez que a massa específica básica correlaciona-se bem com todas estas propriedades.

Contudo, esperava-se também que não viessem a ocorrer diferenças significativas entre as propriedades físicas e mecânicas entre a madeira do nível de queima IV e testemunha, como exemplo do que ocorreu para massa específica básica. Isto confirmou-se para as propriedades físicas integralmente, mas não para todas as propriedades mecânicas.

Pelo que foi exposto acima, pode-se ponderar que o menor teor de extrativos solúveis da madeira do nível de queima IV, supostamente, poderia ter influenciado a sua massa específica, porém de maneira não significativa estatisticamente, mas especialmente significativa, sobre algumas das propriedades mecânicas.

Portanto, como hipótese, uma possível explicação para a redução da resistência e da rigidez da madeira do nível de queima IV, estaria vinculada ao seu menor teor de extrativos solúveis.

Segundo a hipótese formulada acima, baseada em autores como LUXFORD (1931) e ARGANBRIGHT (1971), citados por SCHNIEWIND & BERNDT (1991), GARCIA & QUIRINO (1993), citados por ROCHA (1994) e AJOUNG & BREESE (1997), o menor teor destes extrativos pode ter contribuído para a redução significativa da resistência e da rigidez da madeira do nível de queima IV em relação à testemunha, verificada nos ensaios de flexão estática (redução de 12% para o MOR e de 17% para o MOE), de compressão paralela (redução de 19% para a tensão máxima e de 34% para tensão no limite proporcional) e no de flexão dinâmica (redução de 17% para o coeficiente de resiliência).

Nos demais ensaios com as madeiras do nível de queima IV, as reduções de resistência e rigidez ocorridas configuraram-se apenas como tendência, não sendo estatisticamente significativas, o que leva a crer serem aquelas propriedades menos sensíveis aos efeitos dos extrativos.

Para a madeira do nível de queima III, em relação à madeira da testemunha, somente foi verificada diferença estatisticamente significativa, com redução da sua resistência, nos ensaios de compressão paralela (redução de 12% para tensão máxima e 23% para tensão no limite proporcional).

Embora as madeiras do nível de queima III, que foram submetidas a uma alta intensidade de fogo, não tenham tido o seu teor de extrativos determinado, é possível supor que também teria havido a migração de uma parcela dos mesmos, com os efeitos já mencionados da sua influência, porém, em menor percentagem em relação ao ocorrido com as madeiras do nível de queima IV. Isto pode indicar que a compressão paralela seria a propriedade mecânica mais sensível ao efeito

dos extrativos. De fato, os poucos estudos que se ocuparam em investigar a influência dos extrativos sobre as propriedades mecânicas, tem demonstrado ser aquela propriedade especialmente sensível.

Para as madeiras dos níveis de queima I e II, não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas, em relação as madeiras da testemunha, para nenhuma das propriedades físicas e mecânicas. Isto pode indicar, que nestas intensidades de fogo, a temperatura interna do lenho das árvores não elevou-se ao ponto de provocar alterações nas propriedades das suas madeiras, que pudessem ser verificadas mediante aos ensaios desenvolvidos.

Exceção foi o caso da propriedade de fendilhamento, onde os níveis de queima que diferiram significativamente da testemunha foram o II e o III, tendo suas madeiras apresentado valores médios superiores.

O cisalhamento paralelo mostrou ser a propriedade menos sensível aos efeitos do fogo, uma vez em que os resultados médios de todos os níveis de queima equívalem-se estatisticamente entre si, bem como ao da testemunha.

Fazendo-se um apanhado dos resultados apresentados e das considerações feitas até o momento, torna-se evidente que algumas das resistências relativas aos níveis de queima I, II e, eventualmente ao nível III, que em alguns casos foram ligeiramente superiores às da testemunha, embora a maioria delas estatisticamente não significativas, constituem aspectos positivos em relação às possíveis aplicações práticas de suas madeiras.

Afora a observação das tendências supracitadas, no que se refere à ocorrência de reduções de algumas das resistências estudadas em função da ação do fogo, de maneira geral, pode-se dizer que especificamente às relativas ao

nível de queima IV, e eventualmente ao nível de queima III, não foram suficientes para tornarem as suas madeiras inaptas, para todos os usos normais a que se presta a madeira de *Pinus taeda*, bem como para fins estruturais.

Ressalta-se para o último caso, que tais madeiras possuem relativamente menor capacidade ao admitir cargas. No momento do cálculo estrutural isto resultará numa diminuição da sua tensão admissível, o que irá requerer do calculista, maior atenção no dimensionamento dos elementos da estrutura, especialmente àqueles solicitados à compressão paralela e flexão estática, com a finalidade de se obter o desempenho previsto para as peças em serviço.

Ainda, com relação à utilização das madeiras provenientes das árvores queimadas, exceção deve ser feita quanto ao seu uso para fins de produção de celulose e papel.

A restrição quanto a esta possibilidade de uso não se deve propriamente a má qualidade destas madeiras em relação às suas propriedades tecnológicas, mas ao próprio processo de transformação da matéria-prima, para a produção de papel.

Pelo que se sabe, ocorre que uma certa percentagem de carvão, proveniente de cascas carbonizadas, permanece aderida à madeira após o descascamento que não é totalmente eficiente e, por conseguinte, a "contaminação" da polpa, e do próprio papel, o que leva invariavelmente a uma forte desvalorização do preço deste produto (Comunicação Pessoal, 1998¹).

¹ Comunicação feita pelo Eng. Florestal Francides Gomes da Silva Jr. da empresa VCP à época; atualmente Prof. Dr. do LCF/ESALQ/USP, da área de celulose e papel.

Contudo, as porções do fuste das árvores, onde não houve a carbonização da casca, poderiam ser utilizadas. Considerando este aspecto, as árvores pertencentes aos níveis de queima I, II, e eventualmente ao nível III, que tiveram em média, 3,73%, 22,33% e 42,62% de queima, em relação à sua altura, ainda apresentariam um bom potencial de aproveitamento, ou seja, de 96,27%, 77,67% e 57,38, respectivamente.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir o seguinte:

1. Não houve diferença significativa para os valores médios das propriedades físicas da madeira entre os níveis de queima e a testemunha.

2. Entre o nível de queima IV e a testemunha houve diferença significativa para os valores médios das propriedades mecânicas da madeira nos ensaios de compressão paralela às fibras (tensão máxima e tensão no limite proporcional), de flexão estática (MOR e MOE) e de flexão dinâmica (coeficiente de resiliência), que foram inferiores para a madeira do nível de queima IV.

3. Entre o nível de queima III e a testemunha houve diferença significativa para os valores médios das propriedades mecânicas da madeira nos ensaios de compressão paralela às fibras (tensão máxima e tensão no limite) e de fendilhamento. A resistência da madeira do nível de queima III foi inferior na compressão paralela e superior na propriedade de fendilhamento.

4. Entre o nível de queima II e a testemunha não foram verificadas diferenças significativas para os valores médios das propriedades mecânicas da madeira, com exceção da propriedade de fendilhamento onde houve o aumento da resistência da madeira do nível de queima II.

5. Entre o nível de queima I e a testemunha não foram verificadas diferenças significativas para nenhuma das propriedades mecânicas avaliadas.

6. A compressão paralela às fibras mostrou ser a propriedade mecânica mais sensível aos efeitos do fogo, por ter sido a que apresentou a maior redução significativa de resistência no nível de queima IV e a única propriedade que apresentou redução significativa de resistência no nível de queima III, em relação à testemunha.

7. O cisalhamento paralelo às fibras foi a propriedade menos sensível aos efeitos do fogo, uma vez que os resultados médios de todos os níveis de queima equívalem-se estatisticamente entre si, bem como ao da testemunha.

8. Entre as madeiras do nível de queima IV e da testemunha, não houve diferença significativa para os valores médios dos teores de lignina, holocelulose, extrativos totais e materiais solúveis em NaOH a 1%.

9. Os valores médios do teor de extrativos solúveis em água fria diferiram significativamente entre a testemunha e o nível de queima IV, que apresentou um valor inferior ao da testemunha.

10. As madeiras deste estudo não sofreram suficiente degradação química ou redução de suas propriedades de resistência com a ação do fogo que pudessem torná-las inaptas a aplicações usuais, às quais se prestam a madeira de *Pinus taeda* em condições normais, exceto para o caso da produção de polpa e papel a partir das porções do fuste com casca carbonizada, devido à possibilidade de contaminação do produto final com partículas de carvão.

RECOMENDAÇÕES

Quanto ao tratamento que pode ser dado às árvores atingidas pelos incêndios florestais para prevenir-se contra o ataque de fungos e insetos que desqualificam a madeira tecnologicamente, pode-se recomendar:

1. Logo após à ocorrência do incêndio, efetuar o levantamento da área queimada, e identificar os níveis de queima presentes;

2. Fazer a derrubada imediata de todas as árvores com características enquadradas nos níveis de queima IV e III, nesta mesma ordem, e dar encaminhamento ao processamento da madeira, ou a sua comercialização, para os empregos usuais normais aos quais se presta a madeira de *Pinus taeda*, conforme as suas propriedades avaliadas no presente trabalho.

Após o abate das árvores, na impossibilidade de processar ou comercializar imediatamente a madeira; fazer a sua estocagem sob sistema de aspersão d'água. Tal procedimento, garante proteção adicional contra o ataque de fungos e insetos e, inclusive, possibilita a comercialização futura da madeira, em condições menos emergenciais;

3. Quanto às árvores com características que se enquadram no nível de queima II, fazer a derrubada de todas as que tiveram suas copas totalmente crestadas e encaminhar a madeira para o processamento, porém, para árvores com crestamento parcial das copas, inferior a 90% da altura média total das mesmas, sugere-se que sejam mantidas sob monitoramento, para averiguar se haverá resposta vegetativa até a próxima estação de crescimento. Contudo, na

ocorrência de amarelecimento das copas durante o período de monitoramento, ou de ataque de fungos e insetos, recomenda-se o imediato abate e o processamento da madeira;

4. Quanto às árvores com características que se enquadrem no nível de queima I, sugere-se que sejam mantidas nos talhões, até que seja atingida a idade planejada para o corte.

Quanto a aplicação da madeira, pode-se recomendar:

1. Alguns usos para a madeira de *Pinus taeda*, baseados nas indicações de BORTOLETTO (1993) e na prática comum: Paredes de casas pré-fabricadas em madeira roliça, moirões, pontaletes, caixaria, lambris, molduras, forro, rodapé, móveis, brinquedos, treliças, vigas, caibros, ripas, sarrafos, produção de lâminas, compensados, sarrafeados, chapas de partículas e de fibras, lenha para queima direta e produção de carvão vegetal.

2. No caso do uso estrutural das madeiras de árvores que se enquadrem no nível de queima IV, maior atenção poderá ser dada no cálculo e no dimensionamento dos elementos da estrutura, particularmente àqueles que forem solicitados à compressão paralela e flexão estática, a fim de garantir o desempenho satisfatório das peças em serviço, bem como o bom aspecto estético da obra quanto a possíveis deformações excessivas.

Com relação ao uso da madeira do nível de queima III para fins estruturais, a recomendação é a mesma que a feita acima, especialmente para as peças que forem solicitadas à compressão paralela.

Quanto ao desenvolvimento de trabalhos futuros, recomenda-se:

1. Promover um estudo detalhado sobre as características químicas da madeira, incluindo a determinação dos teores de glicose, xilose, manose, arabinose e galactose, de árvores de *Pinus taeda* atingidas por incêndio florestal, especialmente daquelas que se enquadram nos níveis de queima III e IV, priorizando a determinação do teor de extrativos solúveis em água, objetivando esclarecer o seu efetivo relacionamento com as propriedades físico-mecânicas.

2. Valer-se de uma área atingida por incêndio florestal onde possam ser identificadas e selecionadas árvores pertencentes aos 4 níveis de queima definidos por SOARES & TOZZINI (1987), selecionando também árvores não atingidas pelo incêndio, e mantê-las sob monitoramento integrado até o momento em que o povoamento atinja a idade de corte final, com os seguintes objetivos:

a) fazer o acompanhamento do incremento anual das árvores atingidas pelo incêndio que permanecerem vivas, comparando com as árvores testemunha; b) determinar o tempo decorrente até que se verifiquem os ataques de fungos e insetos sobre as árvores que morreram vitimadas pelo incêndio e, eventualmente sobre as árvores vivas mas debilitadas pelo fogo, e identificar quais são as principais pragas que se instalam; c) efetuar avaliações das propriedades físicas (incluindo nesta avaliação a determinação da massa específica da casca), mecânicas, químicas (também da casca), anatômicas e de secagem da madeira (em estufa a alta temperatura e ao ar), através do abate imediato, e posteriormente periódico, semestral ou anual, de árvores representativas de todos

os níveis de queima, inclusive da testemunha; **d)** avaliar as consequências imediatas do fogo sobre a qualidade da madeira e correlacionar com os resultados obtidos neste trabalho;

e) avaliar a relação tempo de permanência no campo X qualidade da madeira, para as árvores que não sobreviveram ao fogo; **f)** avaliar a relação tempo de permanência no campo X incremento anual X qualidade da madeira, para as árvores que sobreviveram até o corte final.

A N E X O S

ANEXO 1 - MARCHA ANALÍTICA PARA DETERMINAÇÃO SEQUÊNCIAL DE EXTRATIVOS TOTAIS, LIGNINA E HOLOCELULOSE DA MADEIRA

1. Pesar o equivalente a 1,0 g A.S. de serragem e transferir para um saquinho de papel.
2. Colocar a amostra no corpo do extrator.
3. Fazer a extração com álcool-tolueno(1:2) e álcool 96° GL, durante 6 a 8 horas, em cada solvente, deixando secar ao ar, após cada extração.
4. Ligar o banho-maria e mantê-lo em ebulição.
5. Transferir toda a serragem do saquinho para um erlenmeyer de 250 ml.
6. Adicionar 100 ml de água destilada e colocar o erlenmeyer no banho-maria, que já deverá estar fervendo, e cobri-lo com um copo de 50ml.
7. Agitar suavemente a cada 15 minutos.
8. Após 3 horas, filtrar através de cadinho sinterizado, tarado, transferindo toda a serragem do erlenmeyer para o cadinho
9. Lavar, descontinuamente, o cadinho com 250 ml de água quente, quase fervendo.
10. Mantê-lo na estufa, até peso constante.
11. Retirar o cadinho da estufa, esperar esfriar, em dessecador, e pesar.
12. Calcular a percentagem de extrativos totais, através da expressão:

$$\% \text{ ET} = (1 - \text{peso A.S. da serragem}) \times 100$$

13. Utilizando-se a mesma serragem do cadinho, transferi-la para um copo de 50 ou 100 ml.
14. Resfriar o H_2SO_4 72% a 10 - 12 °C.
15. Adicionar 15ml de H_2SO_4 72%, para o copo, e mantê-lo no banho de água a 18 - 20 °C.
16. Agitar e manter no banho, durante 2 horas. Homogeneizar periodicamente e manter o bastão dentro do copo.
17. Após 2 horas, transferir para erlenmeyer de 1 litro, usando 560 ml de água destilada.

18. Ferver durante 4 horas, mantendo constante o nível de água, no erlenmeyer, mediante adição periódica de água destilada.
19. Após as 4 horas, deixar a lignina sedimentar totalmente.
20. Filtrar através de cadinho de vidro sinterizado tarado, fazendo um fundo com papel de filtro, e transferir toda lignina do erlenmeyer, para o cadinho.
21. Lavar o erlenmeyer com água quente, quase fervendo.
22. Lavar, descontinuamente, a lignina do cadinho, com 250 ml de água quente, quase fervendo.
23. Mantê-lo na estufa até peso constante.
24. Retirar o cadinho da estufa, esperar esfriar em dessecador, e pesar.
25. Calcular a percentagem de lignina, através da expressão:

$$\% L = \text{peso A.S. resíduo} \times 100$$

26. Calcular a percentagem de holocelulose, através da expressão:

$$\% H = 100 - \% ET - \% L$$

ANEXO 2 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL MASSA ESPECÍFICA BÁSICA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	0,02617721	4	0,00654430	3,13	0,0168 *
Secção (Queima)	0,00684784	4	0,00171196	0,82	0,5181
Grau (Secção)	0,00063028	2	0,00031514	0,15	0,8610
Residual	0,35134972	168	0,00209137		
Total (Corrigido)	0,40020559	178			

ANEXO 3 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL MASSA ESPECÍFICA SECA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	0,05280965	4	0,01320241	3,77	0,0060 *
Secção (Queima)	0,00847429	4	0,00211875	0,60	0,6622
Grau (Secção)	0,00020790	2	0,00010395	0,03	0,9709
Residual	0,58835210	168	0,00350210		
Total (Corrigido)	0,68248492	178			

ANEXO 4 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL MASSA ESPECÍFICA ANIDRA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	0,05288535	4	0,01322134	3,85	0,0053 *
Secção (Queima)	0,00837864	4	0,00209466	0,61	0,6592
Grau (Secção)	0,00037179	2	0,00018590	0,05	0,9477
Residual	0,57767376	168	0,00343853		
Total (Corrigido)	0,66289162	178			

ANEXO 5 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	7,47050661	4	1,86762665	2,51	0,0450 *
Secção (Queima)	3,06818760	4	0,76704690	1,03	0,3965
Grau (Secção)	0,48028612	2	0,24014306	0,32	0,7262
Residual	123,59133230	166	0,74452610		
Total (Corrigido)	135,31638418	176			

ANEXO 6 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	17,38648698	4	4,34662174	4,36	0,0023 *
Secção (Queima)	6,25174997	4	1,56293749	1,57	0,1882
Grau (Secção)	3,20515625	2	1,60257813	1,61	0,2057
Residual	165,60743585	166	0,99763516		
Total (Corrigido)	194,34045198	176			

ANEXO 7 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	38,25851915	4	9,56462979	3,46	0,0099 *
Secção (Queima)	15,78362329	4	3,94590582	1,43	0,2299
Grau (Secção)	5,93775428	2	2,96887714	1,07	0,3462
Residual	458,87275888	166	2,76429373		
Total (Corrigido)	523,70508475	176			

ANEXO 8 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO MÁXIMA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	1,32765103	4	0,33191276	5,67	0,0003 *
Secção (Queima)	0,25478510	4	0,06369627	1,09	0,3677
Grau (Secção)	0,20087536	2	0,10043768	1,71	0,1851
Residual	9,72344042	166	0,05857494		
Total (Corrigido)	11,60282486	176			

ANEXO 9 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE RUPTURA NA FLEXÃO ESTÁTICA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	390733,76111111	4	97682,44027778	6,84	0,0001 *
Secção (Queima)	29154,45000000	4	7288,61250000	0,51	0,7302
Grau (Secção)	3811,87777778	2	1905,93888889	0,13	0,8758
Residual	2411965,92222222	169	14271,98770546		
Total (Corrigido)	2846664,06111111	179			

ANEXO 10 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE NA FLEXÃO ESTÁTICA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	9836813666,11113000	4	2459203416,52778000	5,53	0,0003 *
Secção (Queima)	1430885475,00000000	4	357721368,75000000	0,80	0,5269
Grau (Secção)	307171254,44444300	2	153585627,22222100	0,35	0,7099
Residual	75143915765,55560000	169	444638554,82577300		
Total (Corrigido)	88158520966,11110000	179			

ANEXO 11 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PARALELA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	59123,38405600	4	14780,84601400	7,72	0,0001 *
Secção (Queima)	1415,93313427	4	353,98328357	0,18	0,9465
Grau (Secção)	1124,29922143	2	562,14961071	0,29	0,7472
Residual	319648,46656805	167	1914,06267406		
Total (Corrigido)	382092,52247191	177			

ANEXO 12 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PARALELA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	50284,97213616	4	12571,24303404	8,12	0,0001 *
Secção (Queima)	4352,28901497	4	1088,07225374	0,70	0,5940
Grau (Secção)	756,13534724	2	378,06767362	0,24	0,7848
Residual	258591,52781065	167	1548,45226234		
Total (Corrigido)	321579,21910112	177			

ANEXO 13 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE NA COMPRESSÃO PARALELA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	11592298980,11100000	4	2898074745,01775000	3,80	0,0057 *
Secção (Queima)	2679146952,46330000	4	669786738,11582500	0,88	0,4811
Grau (Secção)	415381800,03892900	2	207690900,01946400	0,27	0,7630
Residual	127277394618,2210000	167	762140087,53425700		
Total (Corrigido)	144591153588,4490000	177			

ANEXO 14 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TENSÃO MÁXIMA NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	5312,46383022	4	1328,11845756	3,78	0,0060 *
Secção (Queima)	186,62510709	4	46,65627677	0,13	0,9705
Grau (Secção)	770,03416530	2	385,01708265	1,09	0,3392
Residual	58376,61320312	166	351,66634460		
Total (Corrigido)	70272,28248588	176			

ANEXO 15 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL NA COMPRESSÃO PERPENDICULAR - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	2486,75000000	4	621,68750000	4,03	0,0039 *
Secção (Queima)	79,26111111	4	19,81527778	0,13	0,9722
Grau (Secção)	223,22222222	2	111,61111111	0,72	0,4884
Residual	26054,47777778	169	154,16850756		
Total (Corrigido)	31076,80000000	179			

ANEXO 16 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TENSÃO MÁXIMA AO CISALHAMENTO - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	2409,91047933	4	602,47761983	2,28	0,0642
Secção (Queima)	830,11225066	4	207,52806267	0,79	0,5392
Grau (Secção)	361,84578359	2	180,92289180	0,68	0,5077
Residual	44394,54105851	168	264,25322059		
Total (Corrigido)	49783,74301676	178			

ANEXO 17 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TENSÃO MÁXIMA AO FENDILHAMENTO - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	1308,60277778	4	327,15069444	8,16	0,0001 *
Secção (Queima)	121,43611111	4	30,35902778	0,76	0,5574
Grau (Secção)	22,81111111	2	11,40555556	0,28	0,7540
Residual	6773,73888889	169	40,08129520		
Total (Corrigido)	9876,72777778	179			

ANEXO 18 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL COEFICIENTE DE RESILIÊNCIA NA FLEXÃO DINÂMICA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES HIERÁRQUICOS

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	0,87145416	4	0,21786354	4,18	0,0031 *
Secção (Queima)	0,15321564	4	0,03830391	0,73	0,5725
Grau (Secção)	0,02653128	2	0,01326564	0,25	0,7768
Residual	8,60186053	165	0,05213249		
Total (Corrigido)	9,91721591	175			

ANEXO 19 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TEOR DE EXTRATIVOS SOLÚVEIS EM ÁGUA FRIA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE QUEIMA (TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	1,27575881	1	1,27575881	5,58	0,0230 *
Residual	9,37244119	41	0,22859613		
Total (Corrigido)	10,64820000	42			

ANEXO 20 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TEOR DE MATERIAIS SOLÚVEIS EM NaOH A 1% - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE QUEIMA (TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	0,25644742	1	0,25644742	0,19	0,6634
Residual	56,06350713	42	1,33484541		
Total (Corrigido)	56,31995455	43			

ANEXO 21 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE QUEIMA (TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	0,03567277	1	0,03567277	0,06	0,8101
Residual	25,60931586	42	0,60974562		
Total (Corrigido)	25,64498864	43			

ANEXO 22 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TEOR DE LIGNINA - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE QUEIMA (TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	3,37180364	1	3,37180364	0,94	0,3387
Residual	151,23636000	42	3,60086571		
Total (Corrigido)	154,60816364	43			

ANEXO 23 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA DA VARIÁVEL TEOR DE HOLOCELULOSE - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE QUEIMA (TESTEMUNHA E NÍVEL DE QUEIMA IV)

Fonte de Variação	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	Pr > F
Nível de Queima	2,70432602	1	2,70432602	0,74	0,3958
Residual	154,33878989	42	3,67473309		
Total (Corrigido)					

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCP - ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Umidade de madeira reduzida a serragem por secagem em estufa, ABCP - M 2/71. Normas Técnicas, São Paulo, 1974.
- _____. Solubilidade da madeira em hidróxido de sódio a 1%, ABCP - M 5/68. Normas Técnicas, São Paulo, 1974.
- AJOUNG, E.M.A. & BREESE, M.C. The role of extratives on short-term creep in compression parallel to the grain of Pai wood (*Azelia africana* Smith). Wood and Fiber Science. 1997, 29:2, 161-170; 51 ref.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for 1% sodium hidroxide solubility of wood, D 1109-84. Annual book of ASTM standards, Vol. 04.09 (wood), section 4 (construction), Philadelphia, 1990.
- _____. Standard test methods for water solubility of wood, D 1110-84. Annual book of ASTM standards, Vol. 04.09 (wood), section 4 (construction), Philadelphia, 1990.
- BAILEY, A.W. & WRIGHT, H.A. Fire Ecology, United States and Southern Canada. New York, John Wiley, 1982, 501p.
- BALDWIN, R.F. Plywood manufacturing practices. San Francisco, M. Freeman, 1975.
- BURGER, L.M. & RICHTER, H.G. Anatomia da Madeira. São Paulo, Nobel, 1991, 154p.
- BORTOLETTO Jr, G. & MESQUITA, M.G. Aspectos tecnológicos da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, decorrente de um incêndio florestal na região do Distrito Federal. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, 1992, São Carlos. Anais...São Carlos: USP/EESC/SET/LaMEM, 1992. v.1, p.159-170.
- BORTOLETTO Jr., G. Indicações para a aplicação da madeira de seis espécies e variedades de *Pinus* aplicada na construção civil. São Carlos, 1993.119p. Dissertação de Mestrado. Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- BRITO, J. O. Estudo sobre retificação térmica das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus saligna*. Relatório Final. FAPESP-93/4639-0, Piracicaba, 1997. 198p.

BROWN, H.P.; PANSIN, A.J. & FORSAITH, C. C. Textbook of wood Technology. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc, 1952. Vol 2, 783p.

BROWN, A.A. & DAVIS, K.P. Forest Fire: Control and Use. New York, McGraw-Hill, 1973. 685 p.

CARVALHO, A. Madeiras "salvadas" de fogos florestais. Portugal: Departamento de Tecnologia dos Produtos Florestais, Alcobaca. Estação Nacional de Tecnologia dos Produtos Agrários/INIA, 1986. p.13-21.

COPANT - COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas: Selección y colección de muestras. COPANT 458, 1972.

_____ Maderas: Acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecánicos. COPANT 459, 1972.

_____ Maderas: Método de determinación de la humedad. COPANT 460, 1972.

_____ Maderas: Método de determinación del peso específico aparente. COPANT 461, 1972.

_____ Maderas: Método de determinación de la contracción. COPANT 462, 1972.

_____ Maderas: Método de determinación del cizallamiento paralelo al grano. COPANT 463, 1972.

_____ Maderas: Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano. COPANT 464, 1972.

_____ Maderas: Método de determinación de la compresión perpendicular al grano. COPANT 466, 1972.

_____ Maderas: Método de ensayo de flexión estática. COPANT 555, 1973.

_____ Maderas: Método de ensayo de resistencia al clivaje. COPANT 741, 1975.

GRANGER, J.E. Fire in Forest. In: BOOYSEN, P.V. & TANTON, N.M. Ecological effects of fire in South African ecosystem, Berlim, Esplinger-Verlag, 1984, Cap. 8, p.177-197.

HAIGREEN, J.G. & BOWYER, J.L. Forest products and wood science: an introduction. Ames, Iowa State University Press, 1989. 500p.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Manuais técnicos em geociências, 1. Rio de Janeiro, IBGE, 1992. 91p.

- IPT - Manual de preservação de madeiras. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A, São Paulo, 1986. Vol. 1, Cap. 5. p.217-256.
- IPT/DIMAD - Ficha PIN50004. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - Divisão de Madeiras, São Paulo, s/d.
- KEINERT Jr., S. Laminação e colagem de madeira. IN: Curso de Tecnologia e Transformação da Madeira. Curitiba, UFPR/SCA/DETR, Cap. 5, 1994.
- KOCH, P. Utilization of southern pines. USDA: Forest Service, 1972. 2v. (Agriculture handbook, 420).
- KLOCK, H. Qualidade da Madeira de *Pinus oocarpa* SHIEDE e *Pinus caribaea* MORELET var. *hondurensis* BARR e GOLF. Curitiba, 1989, 143p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- KOLLMANN, F.F.P. & CÔTÉ JR., W.A. Principles of wood science and technology: solid wood. Berlim, Springer-Verlag, 1968, 592p.
- KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W. & STAMM, A.J. Principles of wood science and technology: wood based materials. Berlim, Springer-Verlag, 1975.
- MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, BADEP/UFPR/IBPT, 1968. 350p.
- MARTINS, V.A. Secagem de madeira serrada. Brasília, IBDF/DPq/LPF, 1988. 56p.
- MEDINA, J. C. Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Engelm. Curitiba, 1986, 110p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- MORESCHI, J.C. Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de "*Pinus elliottii*", nos estados do sul do Brasil. Curitiba, 1975, 162p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- MUÑIZ, G.I.B. Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. Curitiba, 1993, 235p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

- NEUMANN, M.L. Aspectos técnicos e econômicos da proteção contra incêndios florestais em povoamentos de *Pinus spp.* In: REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF, 4: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 2, 1996, Curitiba. Anais...Curitiba: FUPEF, 1996, p.151-163.
- ROCHA, J.S. A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas. Piracicaba, 1994, 141p. Dissertação de Mestrado. ESALQ/USP.
- SCHNIEWIND, A.P. & BERNDT, H. The composite nature of wood. In: LEWIN, M. & GOLDSTEIN, I.S. Wood structure and composition. New York, Marcel Dekker, Inc., 1991, Cap. 10, p. 435-476.
- SOARES, R.V. Proteção Florestal. Curitiba: Centro de Pesquisas Florestais, 1971. 175p.
- SOARES, R.V. Incêndios Florestais. Controle e Uso do Fogo. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF), Curitiba, PR, 1985. 213p.
- SOARES, R.V. & TOZZINI, D.S. Relações entre o comportamento do fogo e danos causados a um povoamento de *Pinus taeda*. Revista Floresta, Curitiba: FUPEF, v. XVII, nº 1 e 2, p.9-13, 1987.
- SOARES, R.V. Perfil dos incêndios florestais no Brasil, de 1984 a 1987. Revista Floresta, Curitiba: FUPEF, v. XVIII, nº 1 e 2, p.94-121, 1988.
- SOARES, R.V. Ecological and economical consequences of forest fire: the brasilian example. Paris, Anais do X Congresso Florestal Mundial: 1991,p. 471-478.
- SOARES, R.V. Os incêndios florestais no Brasil: Problemas e perspectivas. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS, 1994, Curitiba. Anais...Curitiba: UFPR/SCA/DSM/FUPEF, 1994, p. 1-11.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Water solubility of wood, T 1 m-59, New York.
- TIMELL, T.E. Compression wood in gymnosperms. Berlim, Springer-Verlag, 1986, Vol. I, Cap. 5, p. 289-394.
- TOMASELLI, I. The influence of high-temperature drying om some physical and mechanical of *Pinus radiata* D. Don., Melborne, 1977. 283p. Tese de Doutorado (PhD) - University of Melborne.

- TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia* e *Pinus spp* produzida em reflorestamentos. In: IUFRO Meeting on Forestry Problems of the Genus *Araucaria*, 1979, Curitiba. Anais...Curitiba: FUPEF, 1980. p.286-291.
- TSOUMIS, G. Science and technology of wood. Structure, properties, utilization. New York, Chapman & Hall, 1991. 494p.
- VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Boletim Técnico da Sociedade de Investigações Florestais, número 1. Viçosa, 1984, 21p.
- WANGAARD, F.F. The mechanical properties of wood. New York, John Wiley & Sons, Inc, 1950. 377p.